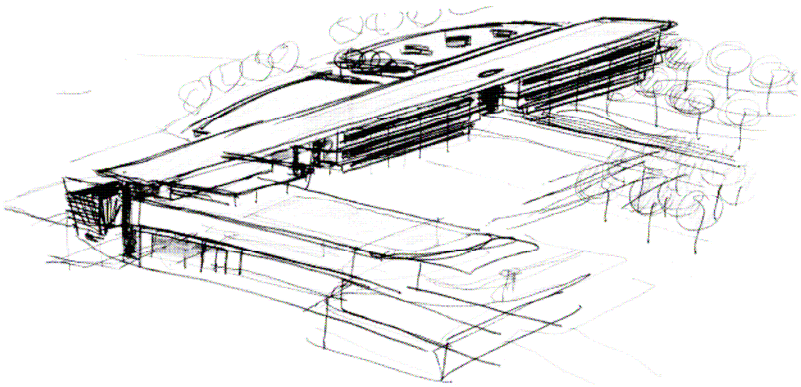
Institut National des Sciences Appliquées
24, boulevard de la Victoire
67084 Strasbourg

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Collège du Piémont HEILIGENSTEIN-BARR



Du calcul sismique

à la rédaction d'un

Guide Méthodologique d'Utilisation du logiciel CBS Pro

Auteur : Damien JEHL
Elève ingénieur INSA Strasbourg, spécialité Génie Civil, option construction

Tuteur entreprise : Alain KANNENGIESER
Ingénieur ENSAIS, Président SBE Ingénierie

Tuteur INSA Strasbourg : Jean-Michel HOTTIER
Professeur agrégé de Génie Civil

Octobre 2007

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Michèle HEINRICH, Directeur Général et Monsieur Alain KANNENGIESER, Président de SBE Ingénierie, de m'avoir permis de réaliser mon Projet de Fin d'Etudes au sein de leur société.

Je remercie également Messieurs Raoul DITSCHEID et Richard RUNTZ du Département Structure qui n'ont pas hésité à satisfaire ma curiosité.

Je remercie aussi Monsieur Sadek KHETTAB pour son aide sur le logiciel Autocad et Madame Sabine HUCKEL pour ses précieux conseils pour la rédaction du mémoire.

A toute l'équipe de SBE Ingénierie, un grand merci pour son accueil et son ambiance de travail agréable, qui m'ont permis de m'épanouir pendant ces six mois de Projet de Fin d'Etudes.

Merci également à Monsieur Jean-Michel HOTTIER, l'enseignant-tuteur qui m'a encadré tout au long de mon Projet de Fin d'Etudes.

Résumé

SBE Ingénierie, qui est un Bureau d'Etudes Techniques, s'est récemment doté du logiciel de calcul sismique CBS Pro. Cependant ce logiciel n'est pas encore utilisé de façon optimale au sein de son Département Structure.
L'objectif du Projet de Fin d'Etudes est de développer son utilisation pour la mise en application du calcul sismique sur tous les projets suivis par SBE Ingénierie.
La méthode retenue pour atteindre cet objectif est de s'appuyer sur l'étude sismique d'un projet réel, le Collège du Piémont à Heiligenstein-Barr.

Il s'agit d'abord de définir les hypothèses de base ainsi que les paramètres sismiques du projet étudié.
Ensuite, on se familiarise avec les Règles PS 92 et plus particulièrement avec les deux méthodes de calcul qui y sont abordées, à savoir la méthode simplifiée et la méthode générale par analyse modale.
La vérification des conditions d'application de la méthode simplifiée dans le cadre du projet a permis de constater que cette méthode présente des limites. L'utilisation de l'outil informatique s'avère donc nécessaire pour procéder au calcul sismique par la méthode générale.

L'utilisation du logiciel CBS Pro nécessite dans un premier temps de modéliser le bâtiment étudié à partir des hypothèses définies en amont.
On procède dans un deuxième temps à l'analyse modale et à la détermination du nombre de modes propres à calculer.
Puis on effectue différentes combinaisons permettant d'obtenir les résultats du calcul sismique.
A l'issue de cette phase de calcul ayant permis l'assimilation du logiciel CBS Pro, on procède à l'exploitation des résultats.

A partir des résultats du logiciel CBS Pro, on procède à la vérification sismique des éléments structuraux, soit en les « exportant » vers le logiciel ROBOT Millenium, soit par calcul manuel.
Cependant, l'étude des résultats de certains éléments a permis de constater des difficultés d'exploitation liées à la méthode de calcul utilisée par le logiciel, à savoir la Méthode des Eléments Finis.

Il résulte de l'assimilation du logiciel, de l'exploitation des résultats et des difficultés rencontrées que le manuel d'utilisation existant est incomplet.
De plus, il ressort de l'analyse du besoin une demande de méthode d'utilisation du logiciel adaptée au Département Structure de SBE Ingénierie.

Finalement, l'objectif du Projet de Fin d'Etudes a été atteint grâce à la rédaction d'un Guide Méthodologique d'Utilisation du logiciel CBS Pro. Ce guide est basé sur l'expérience acquise lors de la modélisation, du calcul sismique et de l'exploitation des résultats du Collège du Piémont.

Mots-clés

Calcul sismique, Règles PS 92, Modélisation informatique, Analyse modale, Guide méthodologique.

Sommaire

Introduction **5**
1 Environnement de l'étude **6**
1.1 SBE Ingénierie **6**
1.1.1 Présentation 6
1.1.2 Organisation 7
1.2 Le Collège du Piémont **8**
1.2.1 Situation géographique 8
1.2.2 Description du projet 9
1.2.3 Principaux intervenants 10
1.2.4 Le projet en quelques chiffres 10
1.2.5 Entreprises adjudicatrices des différents lots 11
2 Bases de l'étude **12**
2.1 Hypothèses **12**
2.1.1 Documents de référence 12
2.1.2 Sol 12
2.1.3 Matériaux 13
2.1.4 Charges d'exploitation 13
2.2 Règles PS 92 ..... **14**
2.2.1 Paramètres sismiques 14
2.2.2 Accélération spectrale et spectre de dimensionnement normalisé 17
2.2.3 Méthode générale 18
2.2.4 Méthode simplifiée 18
2.2.5 Limites d'application de la méthode simplifiée 19
3 Utilisation de l'outil informatique **21**
3.1 Modélisation **21**
3.1.1 Hypothèses supplémentaires 21
3.1.2 Coefficient de comportement 22
3.2 Calcul sismique **24**
3.2.1 Sélection des modes 24
3.2.2 Combinaisons des réponses modales 25
3.2.3 Combinaisons des réponses sismiques 26
3.2.4 Combinaisons d'actions 26
3.3 Constats sur les résultats **27**
3.3.1 Semelle isolée 27
3.3.2 Semelle filante 28
3.3.3 Voile 29
3.3.4 Poteau 30
3.3.5 Poutre 30
3.3.6 Dalle 31
3.4 Exploitation des résultats **32**
3.4.1 Semelle isolée 32
3.4.2 Semelle filante sous mur continu 32
3.4.3 Voile 33
3.4.4 Poteau 33
3.4.5 Poutre 34
3.4.6 Dalle 36

4 Guide Méthodologique pour SBE Ingénierie 37
4.1 Etat des lieux 37
4.2 Analyse du besoin 37
4.3 Elaboration d'un Guide Méthodologique 38
Conclusion 39
Bibliographie 40

Liste des figures

Fig. 1.1 Implantations de SBE Ingénierie 6
Fig. 1.2 Organigramme de SBE Ingénierie 7
Fig. 1.3 Plan de situation 8
Fig. 1.4 Perspective de l'entrée du collège 9
Fig. 1.5 Perspective aérienne du site 9
Fig. 2.1 Tableau des pourcentages d'amortissement critique 15
Fig. 2.2 Tableau des coefficients de masse partielle 16
Fig. 2.3 Spectres de dimensionnement normalisés 17
Fig. 2.4 Schéma de répartition des masses 19
Fig. 3.1 Coefficient de comportement 22
Fig. 3.2 Organigramme de sélection du nombre de modes propres 24
Fig. 3.3 Résultats d'une semelle isolée 27
Fig. 3.4 Résultats d'une semelle filante 28
Fig. 3.5 Résultats d'une semelle filante avec le logiciel CBS Pro version 20 28
Fig. 3.6 Résultats d'un voile 29
Fig. 3.7 Résultats d'un poteau 30
Fig. 3.8 Résultats d'une poutre 30
Fig. 3.9 Résultats d'une dalle 31
Fig. 3.10 Notations des efforts dans une dalle 31
Fig. 3.11 Maillage en éléments finis d'une structure dalle-poutre-poteaux 34
Fig. 3.12 Répartition des efforts entre une dalle et une poutre 35
Fig. 3.13 Principe de vérification d'une dalle 36

Nomenclature

BAEL	Béton Armé aux Etats Limites
BET	Bureau d'Etudes Techniques
CQC	Combinaison Quadratique Complète
DTU	Documents Techniques Unifiés
ELA	Etat Limite Accidentel de séisme
ELS	Etat Limite de Service
ELU	Etat Limite Ultime
ENSAIS	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industrie de Strasbourg
EXE	Phase Exécution
MEF	Méthode Eléments Finis
MOE	Maîtrise d'œuvre
OPC	Ordonnancement, Pilotage et Coordination
PFE	Projet de Fin d'Etudes
PRO	Phase Projet
PS 92	Règles Parasismiques 92
SEGPA	Section d'Enseignement Général et Professionnel Adapté
SRSS	Square Root of Sum of the Squares (racine carrée de la somme des carrés)

Introduction

Le fossé rhénan est, avec les Pyrénées et les Alpes, l'une des principales régions sismiques de France. Le Bureau d'Etudes Techniques (BET) Structure et Fluides SBE Ingénierie y exerce son activité dans des secteurs dont les bâtiments ont généralement certaines exigences parasismiques.

Aussi, pour répondre à cette réalité, SBE Ingénierie, qui doit régulièrement réaliser des études sismiques, a fait l'acquisition du logiciel CBS Pro dans le but d'avoir un outil informatique de calcul sismique. Cependant, le manque de temps, de procédures de modélisation informatique et d'explications pour l'exploitation des résultats ne permettent pas, à ce jour, une utilisation optimale du logiciel.

L'objectif de ce Projet de Fin d'Etudes (PFE) est de permettre à SBE Ingénierie de développer l'utilisation du logiciel CBS Pro pour le calcul sismique au sein de son Département Structure.

La méthode retenue en concertation avec la direction pour atteindre cet objectif est celle de s'appuyer sur l'étude sismique d'un projet réel, le Collège du Piémont à Heiligenstein-Barr.
Ainsi, pour mener cette étude, on commence par se familiariser avec les Règles PS 92, puis on assimile le fonctionnement du logiciel CBS Pro.
Il faut ensuite étudier les résultats fournis par le logiciel pour déterminer un moyen de les exploiter.
Finalement, après avoir acquis les connaissances nécessaires à l'utilisation du logiciel, il résulte de l'analyse du besoin que la solution adaptée au Département Structure consiste à rédiger un Guide Méthodologique d'Utilisation du logiciel CBS Pro.

Après avoir étudié dans un premier chapitre l'environnement de l'étude dans lequel se déroule le PFE, on posera dans un deuxième chapitre les bases de l'étude du Collège du Piémont. Puis l'utilisation de l'outil informatique permettra dans un troisième chapitre de développer le calcul sismique et l'exploitation des résultats pour finalement aboutir dans un quatrième chapitre à la rédaction d'un Guide Méthodologique.

1 Environnement de l'étude

1.1 SBE Ingénierie

1.1.1 Présentation

SBE Ingénierie est une SAS (Société par Actions Simplifiées) au capital de 185 000 € créée en 1973 par Jean GERBER, Ingénieur ETB ENSAIS et Alain KANNENGIESER, Ingénieur TP ENSAIS.

SBE Ingénierie est un BET Structure et Fluides intervenant de la phase conception à la phase exécution et possède des compétences dans les domaines du Génie Civil (structure béton armé, charpente métallique et bois), du Génie Electrique (courants forts, courants faibles), du Génie Climatique (chauffage, climatisation, ventilation, sanitaire), de l'Ordonnancement, Pilotage et Coordination (OPC), de l'Economie de la Construction, de la Coordination du Système de Sécurité Incendie et des expertises techniques.

SBE Ingénierie s'est spécialisée dans l'ingénierie du bâtiment des secteurs d'activités relevant notamment du tertiaire, du logement collectif, de la santé (hôpitaux, maisons de retraite), de l'éducation (collèges, lycées) et de l'équipement (centres de secours, ateliers municipaux, salles polyvalentes) et assure ses missions de Maîtrise d'Oeuvre (MOE) dans tout l'Est de la France (Figure 1.1) grâce à son siège social implanté à Ostwald (67) et à ses agences de Mulhouse (68) et de Montigny-lès-Metz (57).

Fig. 1.1 Implantations de SBE Ingénierie

1.1.2 Organisation

SBE Ingénierie compte un effectif de 21 personnes en incluant les agences de Haute-Alsace et de Lorraine. La figure 1.2 présente l'organigramme fonctionnel de l'entreprise.

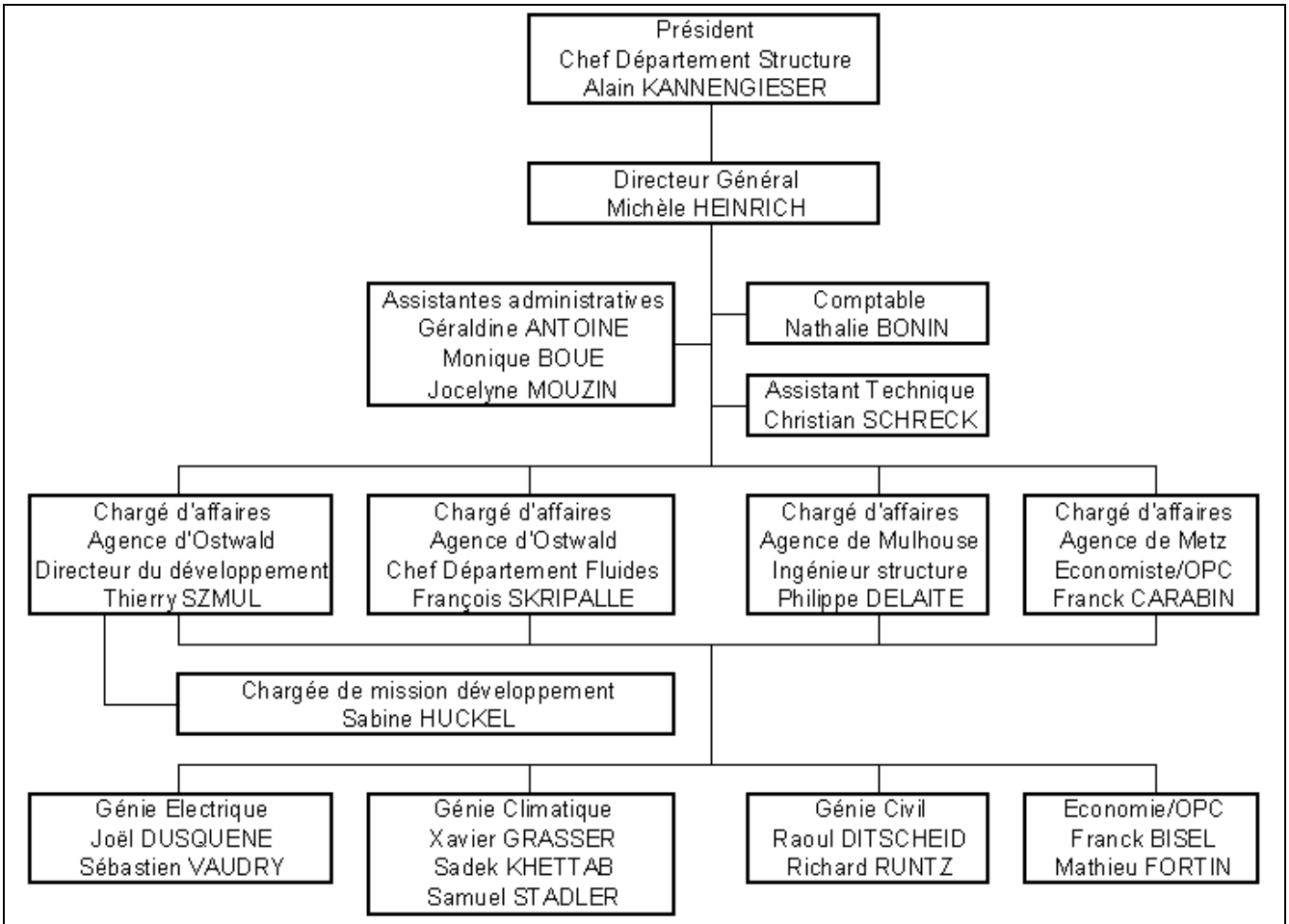


Fig. 1.2 Organigramme de SBE Ingénierie

1.2 Le Collège du Piémont

Le Collège du Piémont à Heiligenstein-Barr est le projet sur lequel s'appuiera l'étude menée lors du PFE.

1.2.1 Situation géographique

Le Collège du Piémont s'insère aux frontières des trois communes de Gertwiller, Barr et Heiligenstein comme le montre la figure 1.3. Des projets d'aménagement des dessertes véhicules et cycles sont également en cours. De plus, le site choisi présente un intérêt remarquable quant à son environnement naturel.

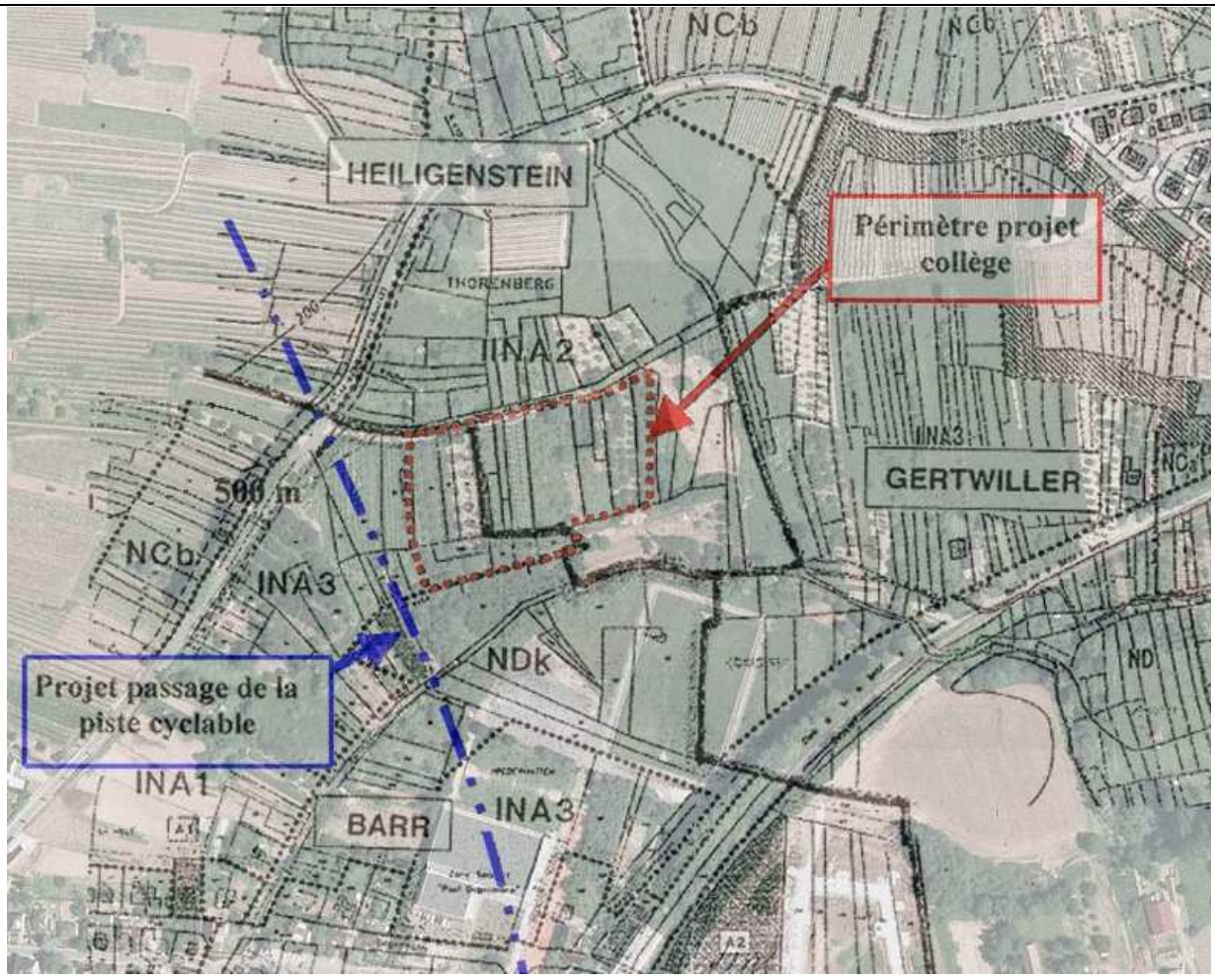


Fig. 1.3 Plan de situation

1.2.2 Description du projet

Le Conseil Général du Bas-Rhin a engagé la construction du Collège du Piémont (Figure 1.4) afin de répondre au besoin de la Communauté de Communes du Pays de Barr et du Bernstein. En effet, le piémont des Vosges a connu une forte croissance du nombre d'élèves à scolariser. Une réalité qui pousse aujourd'hui les collèges existant à augmenter leur capacité d'accueil. C'est notamment le cas à Barr, Wasselonne, Rosheim, Marlenheim, Eschau ou au collège Foch à Strasbourg. Ce nouveau collège viendra compléter celui de Barr qui, malgré une restructuration récente, arrive à saturation.

Fig. 1.4 Perspective de l'entrée du collège

Le collège, dont l'effectif est fixé à 400 élèves est décomposé en quatre bâtiments (Figure 1.5) séparés par des joints de dilatation. La demi-pension de 400 couverts compose l'un des bâtiments. Les autres bâtiments, sur 3 étages chacun, abritent l'administration, des salles de classe, les ateliers de la Section d'Enseignement Général et Professionnel Adapté (SEGPA) d'un effectif de 64 élèves et un internat de 30 lits. Il y a également un niveau d'infrastructure, les bâtiments sont reliés entre eux par une galerie technique aussi appelée vide sanitaire qui permet l'accès aux équipements techniques et la distribution des fluides. Les plans détaillant l'organisation fonctionnelle des différents bâtiments se trouvent dans l'Annexe 1.

Fig. 1.5 Perspective aérienne du site

1.2.3 Principaux intervenants

Les principaux intervenants du projet sont :

- Maître d'Ouvrage — Conseil Général du Bas-Rhin
- Architecte mandataire — J.P. GILCH / F. KALK / L. GILCH, société d'architecture
- BET Structure et Fluides — SBE Ingénierie
- BET Paysagiste — BOUQUOT Eco-Paysagiste
- BET Cuisine — ECOTRAL
- Bureau de Contrôle — SOCOTEC
- OPC et Economie — C2Bi
- Coordination Sécurité et Protection de la Santé — ADC Est

1.2.4 Le projet en quelques chiffres

Ci-dessous quelques chiffres résumant l'affaire :

- Montant total des travaux - tous lots confondus — 9 050 000 € HT
- Montant des travaux du lot 02 - Gros-Œuvre — 3 380 000 € HT
- Taux des honoraires de la mission de base MOE — 8.14 %
- Surface du terrain — ≈ 22 500 m²
- Surfaces utiles (salles de classe, bureaux,…) — 5 700 m²
- Surface Hors Œuvre Brute (SHOB) — 11 200 m²
- Surface Hors Œuvre Nette (SHON) — 7 300 m²
- Ratio montant total des travaux / m² de SHON — 1 340 €/m² de SHON

1.2.5 Entreprises adjudicatrices des différents lots

Les différents lots ont été attribués aux entreprises suivantes :

- lot 01 Terrassements : EUROVIA
- lot 02 Gros-Œuvre : DICKER
- lot 03A Charpente Bois lamellé-collé : MATHIS
- lot 03B Logements ossature bois : MARTIN et fils
- lot 04 Charpente métallique : HOWILLER
- lot 05 Electricité – courants forts : EURO TECHNIC
- lot 06 Electricité – courants faibles : EURO TECHNIC
- lot 07 Chauffage – ventilation : CLK
- lot 08 Plomberie – sanitaire : EHRHART
- lot 09 Réseaux extérieurs : EUROVIA
- lot 10A Couverture étanchéité : SOPREMA
- lot 10B Bardages bois et métalliques : WIEDEMANN et fils
- lot 11A Menuiseries extérieures : PHILIPPI CAB
- lot 11B Occultation et protection solaire : OMNIUM FERMETURES BATIMENT
- lot 11C Porte tambour : KABA
- lot 12 Cloisons et doublages : CILIA
- lot 13 Faux plafonds : LR FAUX PLAFONDS
- lot 14 Menuiseries intérieures bois : INTER DECOR
- lot 15 Serrurerie et métallerie : BOULANGER Ingénierie et négoce
- lot 16 Carrelage : CAMPEIS & Cie
- lot 17 Sols souples : FRIEDRICH
- lot 18 Peinture : SCHWARTZ André
- lot 19 Ascenseur : SCHINDLER
- lot 20A Voiries : COLAS EST
- lot 20B Clôtures : SNEE
- lot 21 Espaces verts et plantations : SCOP ESPACES VERTS
- lot 22A à 22E Equipements de cuisine : AFC
- lot 23 Equipements des salles de sciences : EMSM
- lot 24 Tableaux et écrans : EQUIP'PLUS
- lot 25 Signalétique : INOVAL
- lot 26 Nettoyage de mise en service : NSP

2 Bases de l'étude

Le PFE commence par le recueil des informations nécessaires à l'étude en posant les hypothèses concernant le Collège du Piémont. Puis on analyse les paramètres sismiques et les méthodes de calcul définis dans les Règles PS 92.

2.1 Hypothèses

2.1.1 Documents de référence

- Règlements

Calcul de béton armé	Règles BAEL 91 modifiée 99 DTU 23.1 (Murs en béton banché) DTU 13.11 et 13.12 (Règles pour le calcul des fondations superficielles)
Calcul sismique	NF P 06-013 (Règles de construction parasismique – PS 92)
Charge d'exploitation	NF P 06-001 (Charges d'exploitation des bâtiments)
Charge de neige	NF P 06-006 (Règles Neige 84 modifiées 2000)

- Plans de référence

Le PFE démarrant en même temps que la phase EXE, l'étude se basera sur les plans PRO. L'annexe 6 présente le plan de principe de la structure de contreventement du Bâtiment 3 du Collège du Piémont sur lequel portera plus particulièrement l'étude sismique.
A ce jour, l'avancement des plans EXE BET est au stade dalle haut du deuxième étage.

2.1.2 Sol

Comme l'indique le rapport d'étude géotechnique (Annexe 2), la contrainte admissible du sol aux Etats Limites Ultimes (ELU) est la suivante :

$$q_{ELU}=\frac{K}{S}(p_l-p_0)+q_0=0.26MPa$$

avec $(p_l-p_0)=0.58MPa$
$K=0.9$
q_0 négligeable
$S=2$

Or le coefficient de sécurité partiel $S=2$ retenu dans le DTU 13.1 aux ELU pour les situations non sismiques est remplacé par $S=1.5$ dans le cas de la vérification sismique selon l'article 9.5.1.1 des Règles PS 92 (PS 92/9.5.1.1) [3].
D'où la contrainte admissible du sol aux Etats Limites Accidentels de séisme (ELA) :

$$q_{ELA}=\frac{K}{S}(p_l-p_0)+q_0=\frac{0.9}{1.5}0.58MPa=0.348MPa$$

$$q_{ELA}=348kN/m^2$$

2.1.3 Matériaux

Les caractéristiques des matériaux intervenant dans les vérifications sismiques de la structure béton armé sont les suivantes :

- Béton C25/30
  - Résistance caractéristique à la compression à 28 jours $f_{c28}=25MPa$
  - Résistance caractéristique à la traction $f_{t28}=0.6+0.06f_{c28}=0.6+0.06\times25MPa=2.1MPa$
  - Coefficient de sécurité partiel du béton $\gamma_b=1.15$ (PS 92/11.8.1.2)
  - Résistance de calcul à la compression $f_{bu}=0.85\cdot\frac{f_{c28}}{\gamma_b}=0.85\frac{25MPa}{1.15}=18.48MPa$

- Acier FeE500
  - Limite caractéristique d'élasticité $f_e=500MPa$
  - Coefficient de sécurité partiel de l'acier $\gamma_s=1.00$ (PS 92/11.8.1.2)

2.1.4 Charges d'exploitation

On définit ci-dessous les différentes charges d'exploitation :

- Neige

Zone de neige :	2A	
Altitude h :	190 m	
Charge normale de neige :	$s_k=s_0=0.55kN/m^2$	($h\leq200m$)
Coefficient de forme :	$\mu=0.8$	(Toitures végétalisées plates)
Majoration pour faible pente :	$s_1=0.20kN/m^2$	
Charge de neige :	$s=\mu\cdot s_0+s_1=0.8\times0.55kN/m^2+0.20kN/m^2$	
	$s=0.64kN/m^2$	

- Circulations : $q=4.00kN/m^2$
- Salles de classe : $q=2.50kN/m^2$
- Chambres d'internat : $q=2.50kN/m^2$
- Toitures végétalisées : $q=1.00kN/m^2$

L'ensemble des valeurs des charges permanentes, des charges d'exploitation et de la charge de neige est repris dans l'Annexe 2.

2.2 Règles PS 92

Pour mener l'étude sismique du Collège du Piémont, il est nécessaire au préalable de définir les paramètres et de comprendre les méthodes de calculs des Règles PS 92.

2.2.1 Paramètres sismiques

On définit ci-dessous les différents paramètres entrant en compte dans le calcul sismique ainsi que leur valeur pour le cas du Collège du Piémont.

- Sismicité du lieu :
  Le décret n°91-461 du 14 mai 1991 fixe réglementairement une cartographie des zones de sismicité de la France de forte (III) à négligeable mais non nulle (0).
  Le Collège du Piémont se trouve à Heiligenstein-Barr, en zone sismique Ia, ce qui correspond à une sismicité très faible mais non négligeable.

- Classe du bâtiment :
  Ce paramètre définit le bâtiment en fonction de son importance socio-économique. Il est précisé par l'arrêté du 29 mai 1997.
  Le Collège du Piémont est un bâtiment de classe C, bâtiment dont la défaillance présente un risque élevé pour les personnes et pour leur activité.

- Accélération nominale a_N :
  L'accélération nominale a_N (PS 92/3.3) est fonction de la classe du bâtiment et de la zone de sismicité. Elle traduit l'intensité du risque sismique et le niveau de protection recherché.
  Pour un bâtiment de classe C situé en zone Ia, comme dans le cas présent, l'accélération nominale est la suivante :
  $$a_N = 1{,}5 m/s^2$$

- Type de site :
  Les caractéristiques géologiques d'un site conditionnent la réponse de la structure au séisme.
  Les Règles PS 92 définissent donc différents types de sites auxquels sont associés différents spectres de dimensionnement normalisés.
  D'après le rapport d'étude géotechnique du Collège du Piémont (Annexe 2), le sol est de type argile beige de groupe b ou argile limoneuse de groupe c (PS 92/5.2.1). Il est donc à classer en site de type S2 (PS 92/5.2.2).

- Coefficient d'amplification topographique :
  Ce coefficient permet la prise en compte d'une topographie non plane.
  Dans le cas du Collège du Piémont, le coefficient d'amplification topographique (PS 92/5.2.4) est $\tau = 1$.

- Amortissement de la structure :
  L'amortissement ξ (PS 92/6.2.3.4) traduit la capacité de la structure soumise à des effets dynamiques à dissiper de l'énergie. Il dépend essentiellement du type de matériau et, pour une faible part, des contacts avec les éléments non structuraux. La valeur de l'amortissement pour les bâtiment courants est généralement ξ=5 %.
  Les Règles PS 92 introduisent ensuite une correction d'amortissement ρ qui permet la prise en compte des bâtiments ayant un amortissement $\xi \neq 5$ % et qui est défini par la formule :

$$\rho = \left(\frac{5}{\xi}\right)^{0,4}$$

Matériau	Pourcentage d'amortissement critique (%)
Acier soudé	2
Acier boulonné	4
Béton non armé	3
Béton armé et/ou chaîné	4
Béton précontraint	2
Bois lamellé-collé	4
Bois boulonné	4
Bois cloué	5
Maçonnerie armée	6
Maçonnerie chaînée	5

Fig. 2.1 Tableau des pourcentages d'amortissement critique

Le tableau de la figure 2.1 extrait de l'article 6.2.3.4 des Règles PS 92 indique l'amortissement de chacun des matériaux constituant la structure du Bâtiment 3. On retient donc un amortissement ξ=4 % pour toute la structure. La correction d'amortissement ρ est la suivante :

$$\rho = \left(\frac{5}{\xi}\right)^{0,4} = \left(\frac{5}{4}\right)^{0,4} = 1.09$$

- Coefficients de masse partielle :
  Les masses à prendre en compte dans la modélisation sismique (PS 92/6.2.1) sont l'intégralité des charges permanentes et une fraction Φ des charges d'exploitation et de la charge de neige. Le coefficient Φ dépend du type de local et, dans le cas de la charge de neige, de l'altitude du bâtiment.

Nature des locaux	Coefficient Φ
Bâtiments d'habitation ou d'hébergement, bureaux ou assimilés	0,20
Halles divers, salles d'exposition et autres locaux destinés principalement au transit des personnes	0,25
Salles de réunions, lieux de culte, salles et tribunes de sport, salle de danse	0,25
Salle de classe, restaurants, dortoirs et salles de réunions avec places assises	0,40
Archives, entrepôts	0,80
Autres locaux non visés ci-dessus	0,65
Neige pour une altitude ≤ 500 m	0,00
Neige pour une altitude > 500 m	0,30

Fig. 2.2 Tableau des coefficients de masse partielle

Le tableau de la figure 2.2 indique les coefficients de masse partielle pour les différentes charges d'exploitation du Bâtiment 3 :

- Toiture végétalisée : Φ=0.20
- Circulations : Φ=0.25
- Salle de classe : Φ=0.40
- Internat : Φ=0.40
- Neige : Φ=0.00

Les Règles PS 92 ne spécifiant pas de coefficient de masse partielle pour les toitures végétalisées ou les terrasses non accessibles, il faudrait prendre Φ=0.65, coefficient pour les locaux par défaut. Néanmoins, Victor DAVIDOVICI utilise dans les exemples de son ouvrage *La Construction en zone sismique* [1] un coefficient Φ=0.20 pour les toitures terrasses.
Cette valeur semble plus cohérente compte tenu du type de charge, on retient donc Φ=0.20.

2.2.2 Accélération spectrale et spectre de dimensionnement normalisé

La structure est soumise à l'accélération spectrale $R(T)$ définie par la formule (PS 92/6.5) :

$$R(T)=a_N \cdot \tau \cdot \rho \cdot R_D(T) \text{ (m/s²)}$$

où $R_D(T)$ est l'ordonnée du spectre de dimensionnement normalisé dépendant des formations géologiques du site et de la période T .

En effet, la connaissance détaillée de la réponse d'une structure à un signal sismique en fonction du temps (accélérogramme) n'est généralement pas utile. Pour le dimensionnement, seule la réponse maximale de la structure au cours du séisme est intéressante.
Ceci justifie l'utilisation de spectres de réponse d'accélération permettant de déterminer immédiatement la force d'inertie maximale agissant sur la masse d'un oscillateur en mouvement en fonction de sa période T et de la nature du terrain sous la construction [3].
Les spectres de réponse d'accélération peuvent ensuite être ramenés à l'unité d'accélération en leur appliquant une affinité de la valeur de l'accélération maximale du sol. On obtient alors des spectres de réponse d'accélération normalisés.

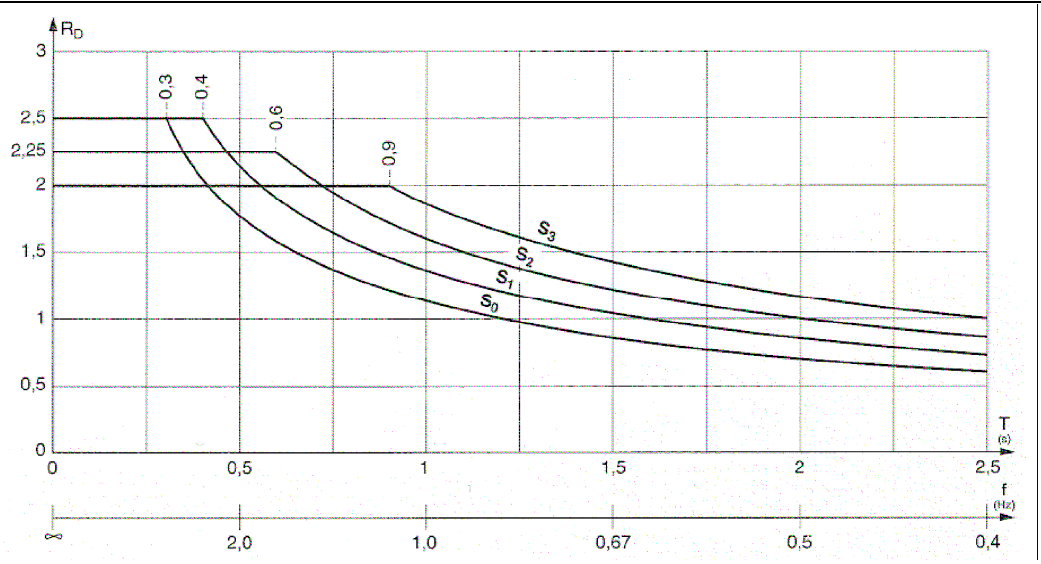


Fig. 2.3 Spectres de dimensionnement normalisés

Ainsi, les spectres de dimensionnement normalisés $R_D(T)$ (Figure 2.3) réglementaires (PS 92/5.2.3) sont l'enveloppe de plusieurs spectres et résultent également de la prise en compte d'incertitudes, de divers impératifs de protection et de lissages permettant leurs représentations par des équations simples.
Les spectres de dimensionnement normalisés ne représentent donc pas un séisme réel passé ou futur mais sont seulement un moyen réglementaire de couvrir de façon rationnelle l'éventualité du risque sismique.

2.2.3 Méthode générale

La méthode générale (PS 92/6.6.2) consiste à décomposer une structure complexe à N degrés de liberté en N oscillateurs simples. Les modes propres de chacun des oscillateurs constituent les modes naturels de vibration de la structure, aussi appelés fréquences de résonance. Le comportement global de la structure peut être considéré comme la somme des contributions des différents modes, il s'agit de l'analyse modale.
Ainsi l'utilisation de l'accélération spectrale $R(T)$ dans le cadre de l'analyse modale permet de déterminer les effets maximaux du séisme sur une structure à partir des réponses modales maximales. On parle alors d'analyse modale spectrale.
La complexité des calculs de cette méthode rend nécessaire l'utilisation de l'outil informatique.

2.2.4 Méthode simplifiée

Le méthode simplifiée (PS 92/6.6.1), comme son nom l'indique, découle de la méthode générale assortie de plusieurs hypothèses simplificatrices :

- On ne considère que le premier mode affecté de la masse totale du bâtiment.

- La période fondamentale, nécessaire à la détermination de l'accélération spectrale, est déterminée à partir de formules forfaitaires.

- Le bâtiment peut être modélisé comme une barre verticale dont les masses sont concentrées au niveau des dalles.

On détermine à partir des deux premières hypothèses une force globale de remplacement. Puis on répartit cette force sur la hauteur du bâtiment à chaque étage en s'appuyant sur la dernière hypothèse.
Ces simplifications en font une méthode de calcul sismique adaptée au calcul manuel pour les bâtiments courants dont le comportement sismique est dominé par le mode fondamental.
Néanmoins cette méthode nécessite que le bâtiment considéré vérifie plusieurs conditions d'application.

2.2.5 Limites d'application de la méthode simplifiée

Les conditions d'application de la méthode simplifiée (PS 92/6.6.1.1) sont étudiées ci-dessous dans le cas du Bâtiment 3 du Collège du Piémont selon le plan de l'Annexe 6 où les éléments de contreventement son mis en évidence par des hachures.

a) Il ne doit pas exister de couplage significatif entre les degrés de libertés horizontaux et verticaux. Il faut en particulier pour cela que la structure de contreventement ne comporte pas d'élément porteur vertical dont la charge ne se transmette pas en ligne directe à la fondation.
   - Le contreventement de la structure en béton armé est assuré par les voiles Axes 6, 16, H et H'. Ces éléments transmettent leur charge en ligne directe à la fondation.
     La condition est respectée.

b) Dans chacun des deux plans verticaux passant par les axes principaux de l'ouvrage, la structure doit pouvoir être réduite par les méthodes de l'article PS 92/6.2 à un système plan ne comportant qu'une masse à chaque niveau. Vis-à-vis des excitations verticales, elle doit être réductible à un système plan ne comportant qu'une seule masse le long d'une même verticale.
   - La figure 2.4 schématise la répartition des masses du Bâtiment 3, on note que la dalle haute du R+1 et la toiture de l'atelier SEGPA ne sont liées que par une passerelle au niveau du mur Axe G. Cette liaison est insuffisante pour pouvoir modéliser la dalle et la toiture par une seule et même masse.
     La condition n'est pas respectée.

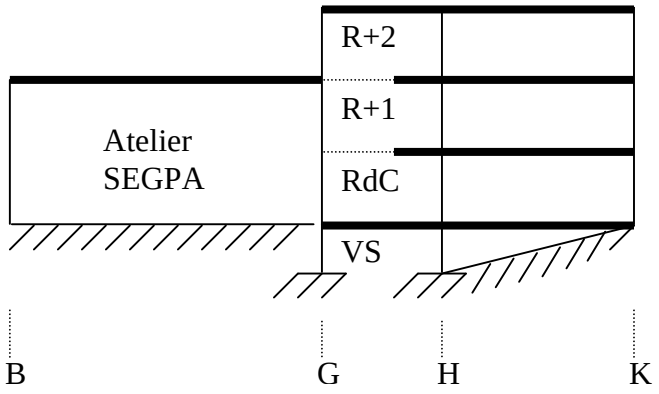


Fig. 2.4 Schéma de répartition des masses

c) La structure doit comporter au moins 3 plans de contreventement non-concourants.
   - Le contreventement est assuré par les voiles Axes 6, 16, H et H'.
     La condition est respectée.

d) Les planchers ou diaphragmes horizontaux doivent présenter, eu égard à la disposition et à la raideur des contreventements verticaux, une rigidité suffisante pour qu'ils puissent être considérés indéformables dans leur plan.
   - Les planchers ne présentent pas de trémies de grandes dimensions.
     La condition est respectée.

e) La forme de la construction en plan, ainsi que la distribution des masses et des rigidités suivant la hauteur, doivent satisfaire aux critères de régularité indiquées dans les articles PS 92/6.6.1.2 ou PS 92/6.6.1.3.
   - Ces critères de régularité, portant sur la géométrie du bâtiment mais également sur la distribution des masses et des raideurs, tant au niveau de sa configuration en plan que de sa configuration en élévation, sont étudiés dans l'Annexe 3.

Il résulte de l'étude des conditions d'application de la méthode simplifiée que le Bâtiment 3 respecte la plupart des critères de régularité en plan. Ce sont principalement les critères de régularité en élévation, distribution des raideurs et distribution des masses, qui font défaut. Ceci s'explique par l'influence de la masse de la toiture de l'atelier SEGPA et du décrochement de la façade nord entre le R+1 et le R+2.
Aussi le Bâtiment 3, pourtant simple en apparence, doit-il être considéré comme irrégulier.

On est alors confronté aux limites d'application de la méthode simplifiée. Il est donc nécessaire d'avoir recours à l'outil informatique pour le calcul sismique par la méthode générale.

3 Utilisation de l'outil informatique

La deuxième étape du PFE consiste en l'assimilation de l'outil informatique dont SBE Ingénierie souhaite développer l'utilisation, le logiciel CBS Pro. Ce chapitre traite des trois principales phases de l'étude sismique appliquée au cas du Collège du Piémont : modélisation, calcul et résultats.

3.1 Modélisation

La modélisation du Bâtiment 3 avec le logiciel CBS Pro se fait à partir des hypothèses définies précédemment. Il est cependant nécessaire de compléter ces hypothèses en raison de certaines limites de modélisation dues au logiciel.

3.1.1 Hypothèses supplémentaires

- Niveau de sous-sol

Bien que le vide sanitaire ne se trouve que sous une partie de la structure béton armée (Annexe 6), un niveau de sous-sol a du être modélisé sous toute la structure béton armée afin de permettre la prise en compte du dallage porté de la partie sud du Bâtiment 3.

- Dallage sur terre plein

Le dallage sur terre plein de la partie nord du bâtiment (Atelier SEGPA) n'a pas été modélisé. En effet, la présence d'un joint sec le désolidarise du reste de la structure (fondations de la zone Atelier) et on peut supposer que son adhérence avec le sol freine ses déplacements. Il n'a donc aucun effet sur la structure en cas de séisme.

3.1.2 Coefficient de comportement

Le coefficient de comportement est un paramètre sismique qui, pour être défini, nécessite de connaître la classe de régularité du bâtiment.
En effet, les calculs sismiques sont effectués en supposant les matériaux parfaitement élastiques. Or le comportement réel d'une structure lors d'un séisme ne se situe jamais dans le domaine élastique linéaire, il y a toujours incursion dans le domaine plastique en certains points. La prise en compte de ce phénomène par les Règles PS 92 se fait en divisant les efforts $E_{élastique}$ obtenus par le calcul élastique par un coefficient de réduction q déterminant ainsi les efforts de dimensionnement $E_{\dim}=\frac{E_{élastique}}{q}$ (Figure 3.1).

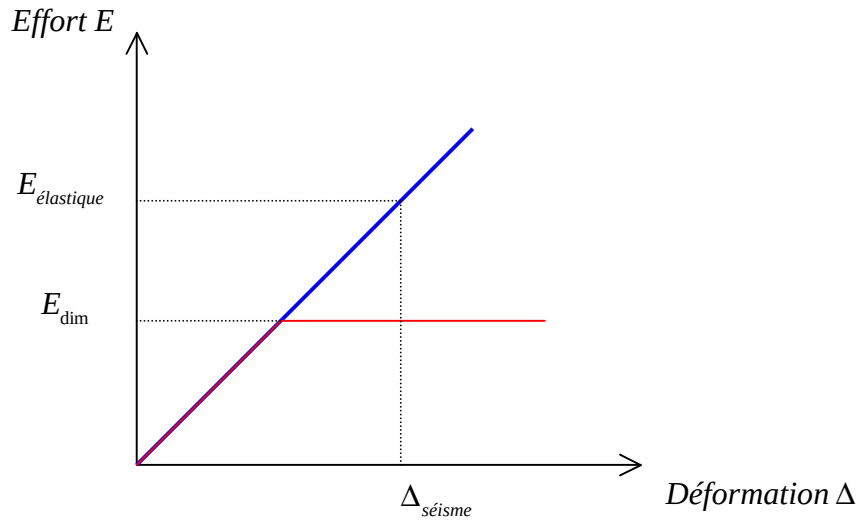


Fig. 3.1 Coefficient de comportement

Ce coefficient q, appelé coefficient de comportement, dépend de la géométrie de la structure, des matériaux et des techniques d'assemblage.
Ainsi, le coefficient de comportement, traduisant la facilité des sections à entrer en plasticité, est défini dans les Règles PS 92 en fonction de la classe de régularité du bâtiment considéré.

Dans le cas général, le logiciel CBS Pro ne permet la saisie que d'un seul coefficient de comportement pour toute la structure. Il faut donc être vigilant à l'utilisation qui est faite du logiciel dans le cas d'une structure composite quelconque.

Il existe en fait plusieurs solutions permettant de contourner ce problème :

- On inventorie les coefficients de comportement de chaque matériau composant la structure. On applique ensuite la plus faible des valeurs de coefficient de comportement.
  Cette solution simple présente tout de même l'inconvénient de surévaluer certains efforts de dimensionnement mais va dans le sens de la sécurité.
- On applique un coefficient de comportement $q=1$. Les efforts obtenus correspondent alors à ceux du calcul élastique. Puis en phase d'exploitation des résultats, selon le matériau de l'élément considéré, on divise manuellement les efforts obtenus par le coefficient de comportement adéquat.
  Cette solution, bien qu'exacte, complique la phase d'exploitation des résultats.

- On applique le coefficient d'un des matériaux composant la structure. On lance le calcul de la structure et on procède uniquement à l'exploitation des résultats des éléments composés de ce matériau. On procède ainsi avec chacun des matériaux composants la structure.
  Cette solution, bien que longue à mettre en œuvre (il y a autant de calculs à effectuer qu'il y a de matériaux différents), permet d'obtenir des résultats exacts et directement exploitables.

Dans le cas du Bâtiment 3 du Collège du Piémont, les coefficients de comportement de chacun des matériaux constituant la structure sont identiques :

- Béton armé (PS 92/11.8.2.3) : la hauteur du bâtiment étant inférieure à 28 m, il est possible d'utiliser le tableau 11.823 des Règles PS 92. De plus, la hauteur du bâtiment étant inférieure aux dimensions en plan, on a $q=2$. Mais le bâtiment étant irrégulier, on applique un coefficient de minoration de 0.70, d'où :
  $$q=0.70\times 2=1.4$$

- Charpente métallique (PS 92/13.4) : l'accélération nominale $a_N=1{,}5 m/s^2$ étant inférieure à $2.5 m/s^2$, on a $q=2$. Mais le bâtiment étant irrégulier, on applique un coefficient de minoration de 0.70, d'où :
  $$q=0.70\times 2=1.4$$

- Charpente bois (PS 92/14.4.1) : la charpente étant constituée de portiques avec assemblages boulonnés, on a $q=2$. Mais le bâtiment étant irrégulier, on applique un coefficient de minoration de 0.70, d'où :
  $$q=0.70\times 2=1.4$$

On retient donc un coefficient de comportement $q=1.4$ pour toute la structure.

3.2 Calcul sismique

La modélisation étant terminée, on détaille à présent les étapes du calcul sismique.

3.2.1 Sélection des modes

Le calcul sismique se fait selon la méthode générale par analyse modale. L'analyse modale doit respecter certaines consignes (PS 92/6.6.2.2) concernant le nombre de modes propres calculés pour être valide. L'organigramme de la figure 3.2 représente les consignes à vérifier dans chaque direction considérée. Il s'agit d'un processus itératif où n est le nombre de modes calculés, f_n est la fréquence du dernier mode propre calculé, $\sum M_i$ est la somme des masses modales et M est la masse totale vibrante.

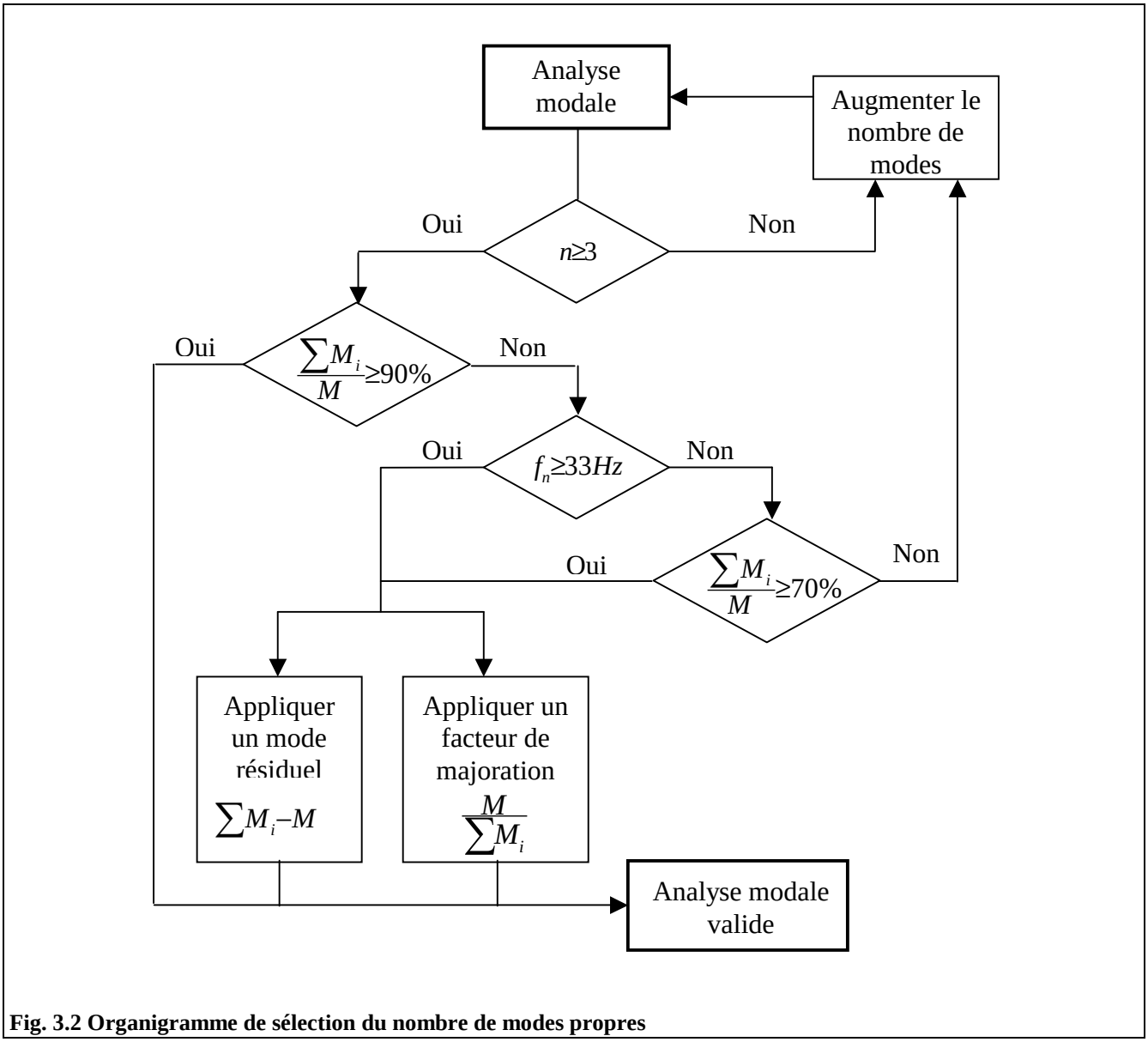


Fig. 3.2 Organigramme de sélection du nombre de modes propres

Dans le cas du Bâtiment 3, le calcul de 160 modes permet d'atteindre la fréquence de 12,92 Hz et une somme de masses modales de plus de 75 % de la masse totale vibrante dans les directions x et y (Annexe 4). L'analyse modale est alors stoppée et des facteurs de majoration sont appliqués sur les variables d'intérêt dans chaque direction :

$$\frac{M}{\sum M_i}=\frac{M}{76.56\%M}=\frac{1}{0.7656}\approx 1.31 \text{ selon } x \text{ et } \frac{M}{\sum M_i}=\frac{M}{75.80\%M}=\frac{1}{0.7580}\approx 1.32 \text{ selon } y$$

3.2.2 Combinaisons des réponses modales

Les réponses modales E_i (déplacements ou efforts maximaux pour les modes i de 1 à n) issues de l'analyse modale doivent être combinées (PS 92/6.6.2.3) pour déterminer les effets du séisme E_k dans chaque direction (k étant la direction x, y ou z considérée).
Cependant les différents modes n'atteignent pas leur maximum en même temps, aussi une simple addition arithmétique de toutes les composantes modales conduirait à une surestimation des effets du séisme. Le logiciel CBS Pro permet indifféremment l'emploi des deux formes de combinaisons des réponses modales les plus couramment utilisées :

- La combinaison quadratique ou méthode Square Root of Sum of the Squares (SRSS ou racine carrée de la somme des carrés), valable lorsque l'on peut supposer l'absence de corrélation entre les différents modes propres.

$$E_k=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} E_i^2}$$

- La Combinaison Quadratique Complète (CQC), où $\beta_{i,j}$ est un coefficient de corrélation permettant de prendre en compte le cas des modes non indépendants : $\beta_{i,j}=1$ quand $i=j$ et $\beta_{i,j}\approx 0$ quand les modes i et j sont à des fréquences éloignées.

$$E_k=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\beta_{i,j}\cdot E_i\cdot E_j}$$

On remarque que la méthode SRSS est incluse dans la CQC puisque $\beta_{i,j}\approx 0$ quand les modes i et j sont à des fréquences éloignées, c'est-à-dire qu'il y a absence de corrélation. On choisit donc, dans le cas du Collège du Piémont, la Combinaison Quadratique Complète.

3.2.3 Combinaisons des réponses sismiques

L'analyse modale permet d'obtenir les réponses E_k dans les différentes directions du séisme, soit E_x, E_y et E_z. Mais un séisme n'est pas unidirectionnel, il faut considérer la concomitance des effets du séisme dans les directions x, y et z. La réponse résultante E peut être déterminée à partir des maxima des effets du séisme calculés séparément dans chaque direction (PS 92/6.4). Ainsi la réponse résultante E est déterminée par le cas le plus défavorable des formules suivantes :

$$\left.\begin{aligned} E &= \pm E_x \pm 0.3E_y \pm 0.3E_z \\ E &= \pm 0.3E_x \pm E_y \pm 0.3E_z \\ E &= \pm 0.3E_x \pm 0.3E_y \pm E_z \end{aligned}\right\}$$

Par ailleurs, les effets de la composante verticale peuvent être négligés car il n'y a pas de couplage entre degrés de liberté horizontaux et verticaux (PS 92/6.4).

Il faut ensuite combiner la résultante sismique E avec les autres actions agissant sur la structure.

3.2.4 Combinaisons d'actions

En notant symboliquement les effets des charges permanentes G, des charges d'exploitation $Q_{k,i}$, de la charge de neige N et de l'action du séisme E, les combinaisons d'actions accidentelles de séisme (PS 92/8.1) à considérer pour la détermination des sollicitations de calcul S sont de la forme :

$$S = G + E + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\psi_{1,1}$ et $\psi_{2,i}$ étant les facteurs d'accompagnement selon les Règles BAEL 91 modifiées 99.

Dans les cas les plus courants, la formule ci-dessus se ramène aux cas suivants :

$$\left.\begin{aligned} S_{1u} &= G + E + 0{,}8Q + 0{,}1N \\ S'_{1u} &= G + E + 0{,}3N \\ S_{2u} &= G + E + 0{,}2N + 0{,}4Q \end{aligned}\right\}$$

On note cependant que la vérification de la force portante du sol dans le cas des fondations superficielles se fait avec les combinaisons suivantes (PS 92/9.5.1.1) :

$$S_{1u} = G + Q \pm E$$
$$S_{2u} = G \pm E$$

Les combinaisons d'actions sont générées automatiquement par le logiciel sauf les combinaisons de vérification des fondations qu'il est nécessaire de rajouter manuellement.

Les différentes étapes du calcul sismique étant définies, le logiciel CBS Pro procède alors au calcul de la structure par la Méthode des Eléments Finis (MEF).

3.3 Constats sur les résultats

Les calculs terminées, on s'intéresse dans un premier temps à l'observation des résultats fournis par le logiciel CBS Pro. On évalue également la cohérence des résultats et leur possibilité d'exploitation pour chaque type d'élément : semelle isolée, semelle filante, voile, poteau, poutre et dalle.

3.3.1 Semelle isolée

Le logiciel CBS Pro permet d'afficher les efforts agissant sur un élément semelle isolée (Figure 3.3). Les différents efforts ainsi que les conventions de signe sont indiqués sur la fenêtre des résultats.

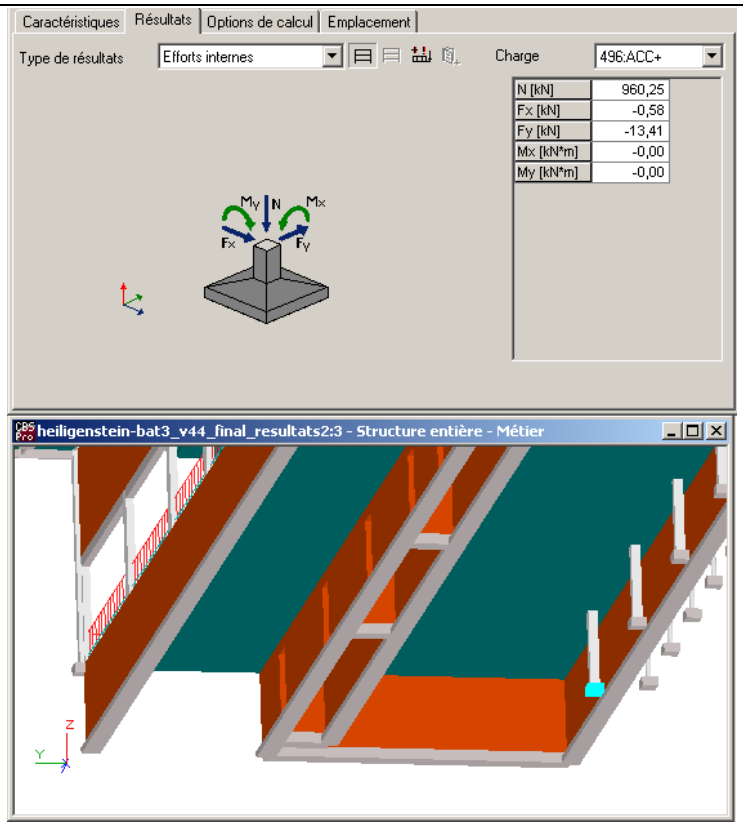


Fig. 3.3 Résultats d'une semelle isolée

Les résultats sont cohérents et exploitables par calcul manuel ou en « exportant » l'élément vers le logiciel ROBOT Millenium.

3.3.2 Semelle filante

L'utilisation des résultats d'un élément semelle filante est impossible. En effet, il apparaît que lors du calcul par la Méthode des Eléments Finis, le logiciel CBS Pro modélise une semelle filante comme une poutre sur sol élastique, ce qui explique l'allure du diagramme d'efforts tranchant *Fz* (Figure 3.4). Le logiciel n'indiquant pas la charge appliquée sur la semelle, les résultats sont inexploitables en l'état pour la vérification de la force portante du sol.

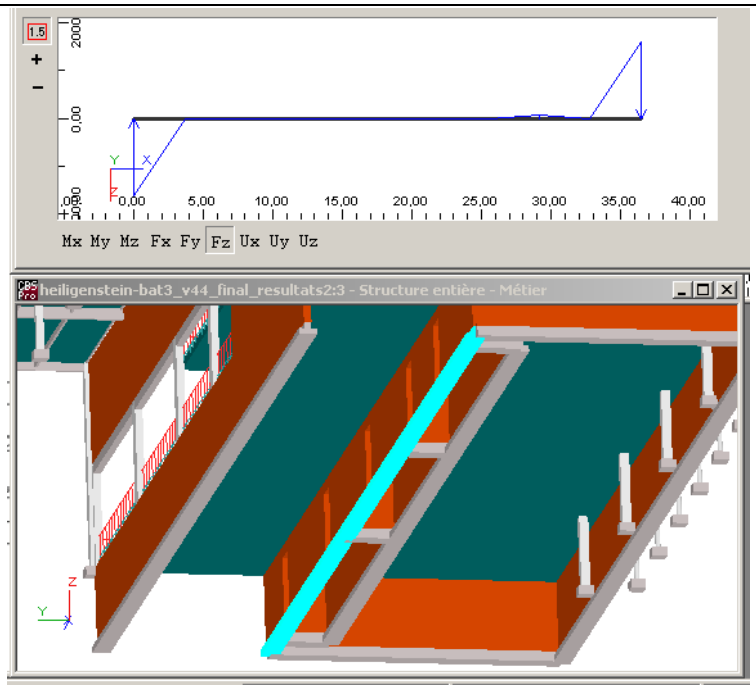


Fig. 3.4 Résultats d'une semelle filante

On note cependant qu'il est possible, avec la version 20 du logiciel CBS Pro, de visualiser le chargement d'une semelle filante grâce à l'option supplémentaire *FZ*, comme le montre la figure 3.5 envoyée par le service assistance de RoboBAT.

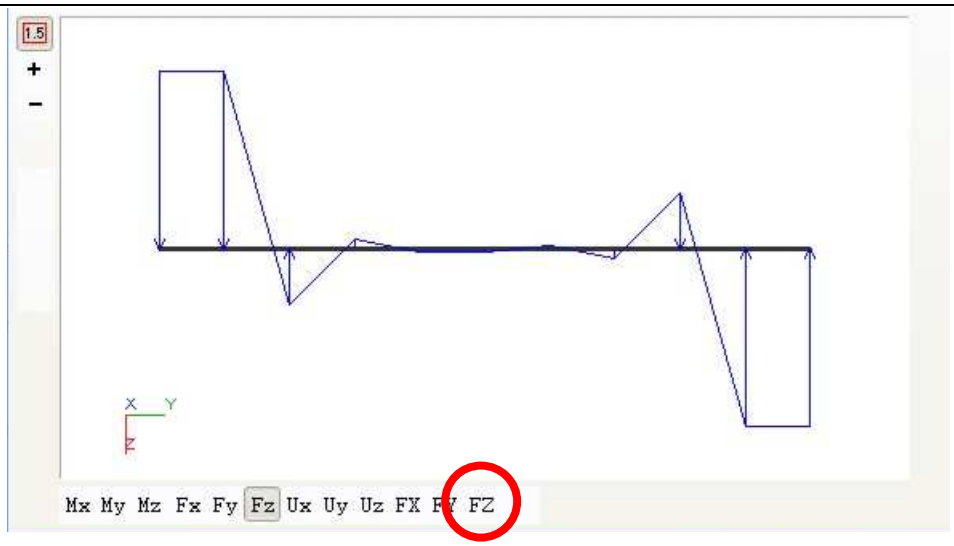


Fig. 3.5 Résultats d'une semelle filante avec le logiciel CBS Pro version 20

3.3.3 Voile

Le logiciel CBS Pro modélise un élément voile comme une plaque, les notations utilisées pour les résultats sont celles de la théorie des plaques (Figure 3.6). On s'intéresse donc plus particulièrement aux sollicitations dans le plan du voile ainsi qu'aux « efforts réduits » N, V et M qu'il est possible d'afficher en tout point du voile.
On constate cependant que le repère (X,Y,Z) affiché sur la fenêtre de résultats est le repère global de la structure, tandis que les indices des différentes sollicitations sont ceux d'un repère local (x,y,z) qui n'est pas indiqué. Après étude des résultats de plusieurs voiles, on note que l'axe y du repère local est toujours descendant, l'effort normal N'_{yy} est donc négatif en compression.

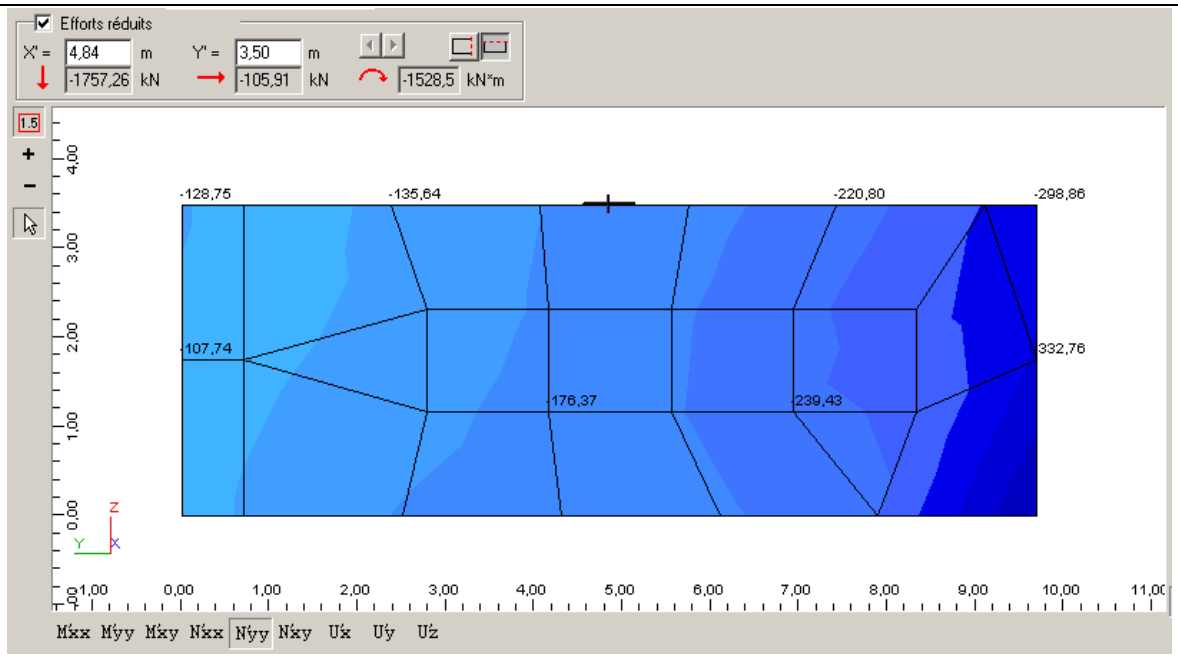


Fig. 3.6 Résultats d'un voile

Les résultats semblent par ailleurs cohérents et exploitables par calcul manuel.

3.3.4 Poteau

Le logiciel CBS Pro permet d'afficher les efforts internes d'un élément poteau (Figure 3.7).

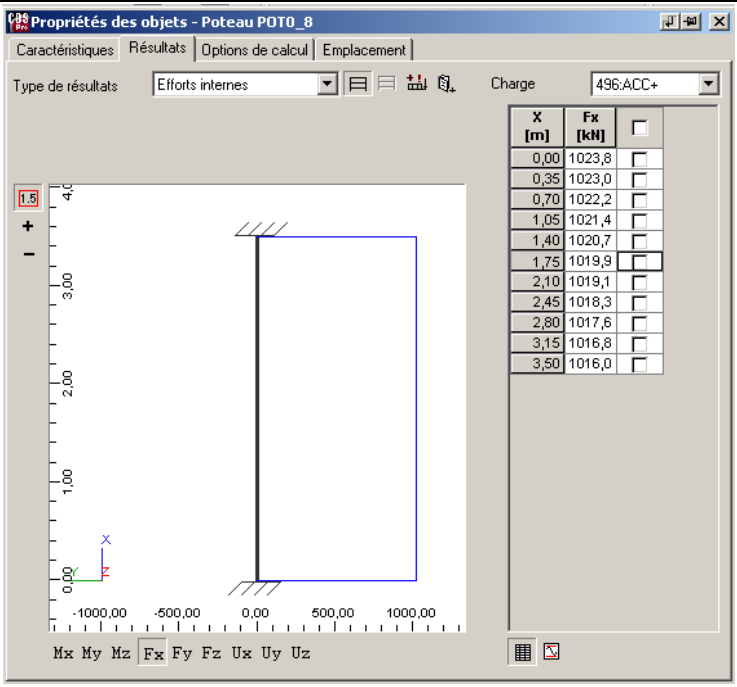


Fig. 3.7 Résultats d'un poteau

Les résultats sont cohérents et exploitables par calcul manuel ou en « exportant » l'élément vers le logiciel ROBOT Millenium.

3.3.5 Poutre

Le logiciel CBS Pro permet d'afficher les efforts internes d'un élément poutre (Figure 3.8).

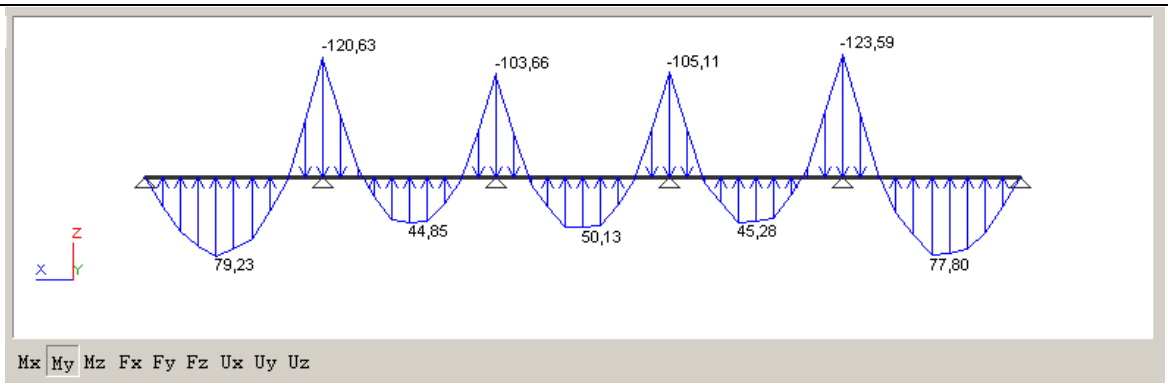


Fig. 3.8 Résultats d'une poutre

Les résultats semblent cohérents et exploitables par calcul manuel ou en « exportant » l'élément vers le logiciel ROBOT Millenium.

3.3.6 Dalle

Le logiciel CBS Pro permet d'afficher les sollicitations d'un élément dalle (Figure 3.9).

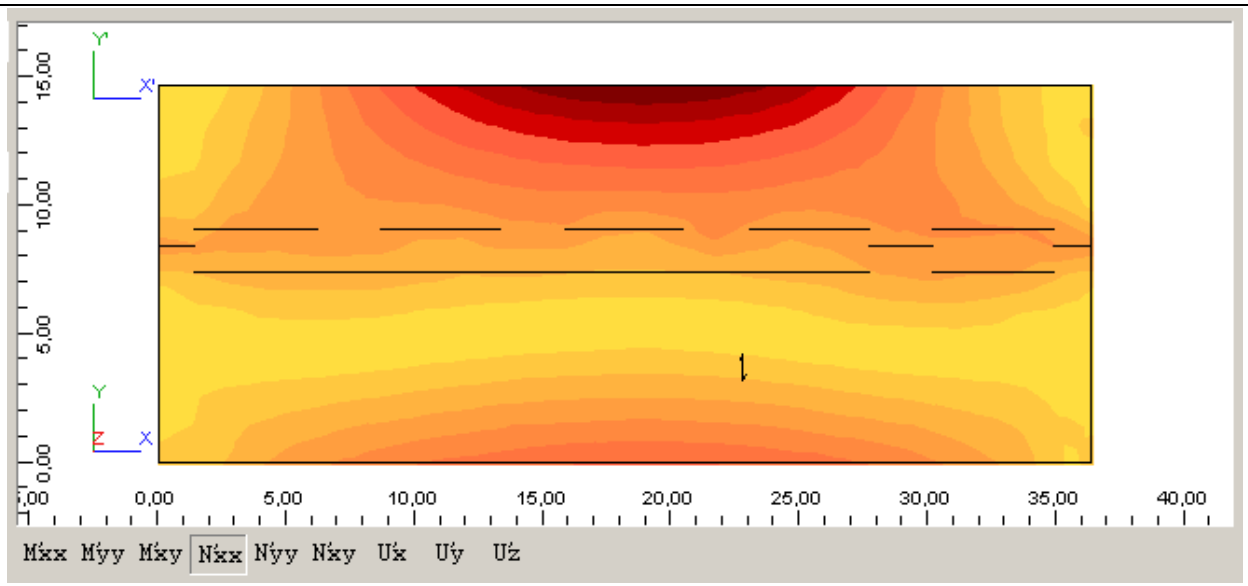


Fig. 3.9 Résultats d'une dalle

Les indices des sollicitations correspondent à ceux de la théorie des plaques (Figure 3.10). Le repère utilisé, qui est le même que le repère global de la structure, est celui affiché à l'écran. Les résultats semblent par ailleurs cohérents et exploitables par calcul manuel.

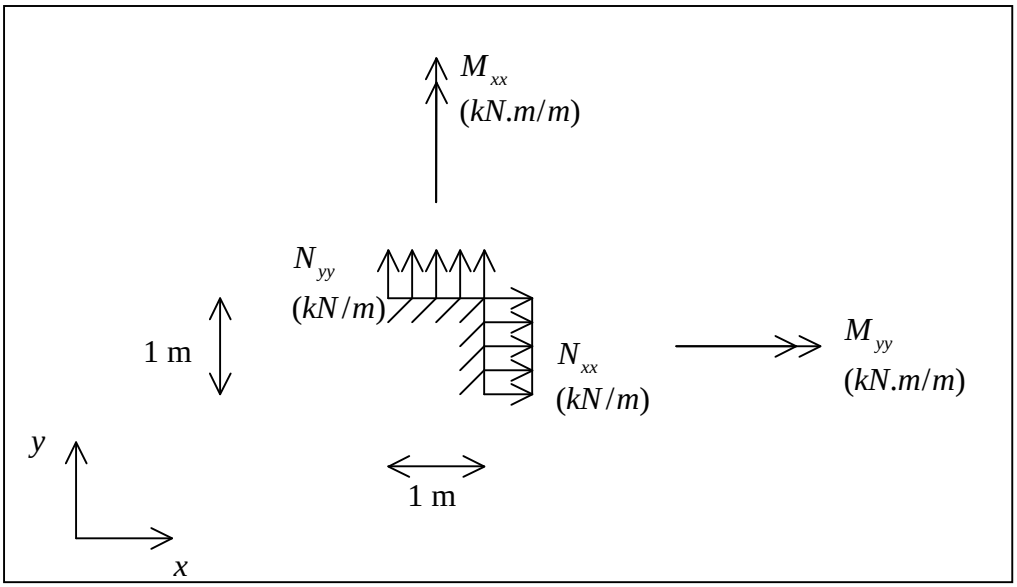


Fig. 3.10 Notations des efforts dans une dalle

3.4 Exploitation des résultats

Une fois qu'un premier constat a été effectué sur les résultats fournis par le logiciel CBS Pro, c'est à l'utilisateur de les interpréter puis de les exploiter ou de les remettre en question.
Ainsi, la vérification sismique du Collège du Piémont conduit à déterminer des procédures de calcul pour chaque type d'élément.

3.4.1 Semelle isolée

L'exploitation des résultats d'une semelle isolée est aisée puisqu'il est possible « d'exporter » l'élément ainsi que son chargement vers le logiciel ROBOT Millenium.
Il faut ensuite ajuster différents paramètres dans le logiciel ROBOT Millenium tels que type et forme de semelle, sol, options de calculs, dispositions de ferraillage, pour finalement obtenir le dimensionnement et le ferraillage de la semelle isolée.
L'annexe 5.1 présente l'exploitation des résultats de la semelle isolée Axes J/14.

On note que lors de « l'export » vers le logiciel ROBOT Millenium, le logiciel CBS Pro transmet toutes les charges avec la semelle isolée. Le logiciel ROBOT Millenium procède alors au dimensionnement et au ferraillage aussi bien aux ELU qu'aux ELA. Les poteaux et donc les semelles isolées ne jouant pas de rôle prépondérant dans le contreventement, ce sont les ELU qui, dans ce cas là, sont dimensionnant. Les résultats obtenus sont légèrement inférieurs au plan EXE.

3.4.2 Semelle filante sous mur continu

Comme indiqué en 3.3.2, les résultats d'un élément semelle filante ne sont pas exploitables.
Cependant, dans le cas où c'est un mur continu qui prend appui sur la semelle filante, la rigidité du mur permet de supposer une répartition des contraintes sur le sol de forme triangulaire ou trapézoïdale.
Aussi, la solution retenue pour le dimensionnement d'une semelle filante consiste à relever les efforts au pied du voile reposant sur la semelle sous combinaison de séisme.
A partir de l'effort normal N , de l'effort tranchant V et du moment M agissant sur la semelle, on détermine les efforts au niveau du sol. En supposant une semelle filante de longueur l, de largeur b et de hauteur h, on obtient les relations suivantes :

$$N' = N + l \times b \times h \times \rho_{béton}$$
$$V' = V$$
$$M' = M + V \times h$$

On calcule l'excentricité e de la résultante N' :

$$e = \frac{M'}{N'}$$

Et on considère alors deux cas :

- Si $e \leq \frac{l}{6}$ (N' est dans le tiers central), la répartition des contraintes est trapézoïdale :

$$\sigma_{max} = \frac{N'}{bl} + \frac{6M'}{bl^2}$$

- Si $e \geq \frac{l}{6}$ (N' en dehors du tiers central), il y a soulèvement d'une partie de la semelle et la répartition des contraintes est triangulaire :

$$\sigma_{max} = \frac{2N'}{3\left(\frac{l}{2} - e\right)b}$$

Et la longueur de décollement est : $d = 3e - \frac{l}{2}$

Puis on vérifie la capacité portante du sol telle que définie en 2.1.2 :

$$\sigma_{max} \leq q_{ELA}$$

Enfin, on procède au ferraillage de la semelle selon le DTU 13.12.
L'Annexe 5.2 présente les résultats du logiciel CBS Pro pour la semelle filante Axe H' ainsi que la feuille de calcul Excel créée selon cette procédure de calcul pour l'exploitation des résultats du logiciel. Les résultats obtenus sont comparables au plan EXE en ce qui concerne la largeur de la semelle. Cependant, le ferraillage est légèrement supérieur au plan EXE.

3.4.3 Voile

L'exploitation des résultats d'un voile se fait par calcul manuel à partir du relevé de l'effort normal dans le plan du voile.
On applique ensuite la procédure de calcul proposée par Victor DAVIDOVICI dans son ouvrage *Formulaire de béton armé 2* [2] qui se base sur l'application du DTU 23.1. et des Règles PS 92/11.8.2.
L'exploitation des résultats du voile RdC Axe 16 se trouve dans l'Annexe 5.3. Le ferraillage obtenu est légèrement inférieur au plan EXE.

3.4.4 Poteau

L'exploitation des résultats d'un poteau est aisée puisqu'il est possible « d'exporter » l'élément ainsi que son chargement vers le logiciel ROBOT Millenium.
Il faut ensuite ajuster différents paramètres dans le logiciel ROBOT Millenium tels que modèle de flambement, élévation, options de calculs et dispositions de ferraillage, pour finalement obtenir le dimensionnement et le ferraillage du poteau.
Les résultats obtenus pour le poteau du Rez-de-Chaussée Axes J/14 se trouvent dans l'Annexe 5.4
On note que, comme pour la semelle isolée, ce sont les ELU qui sont dimensionnant. Les résultats sont comparables au plan EXE.

3.4.5 Poutre

L'exploitation des résultats du logiciel CBS Pro pour un élément poutre a permis de remarquer un défaut du logiciel. En effet il apparaît que dans le cas d'une partie de structure en dalle-poutre-poteaux, le maillage en éléments finis du bord de la dalle et de la poutre se confond en un seul élément filaire (Figure 3.11).

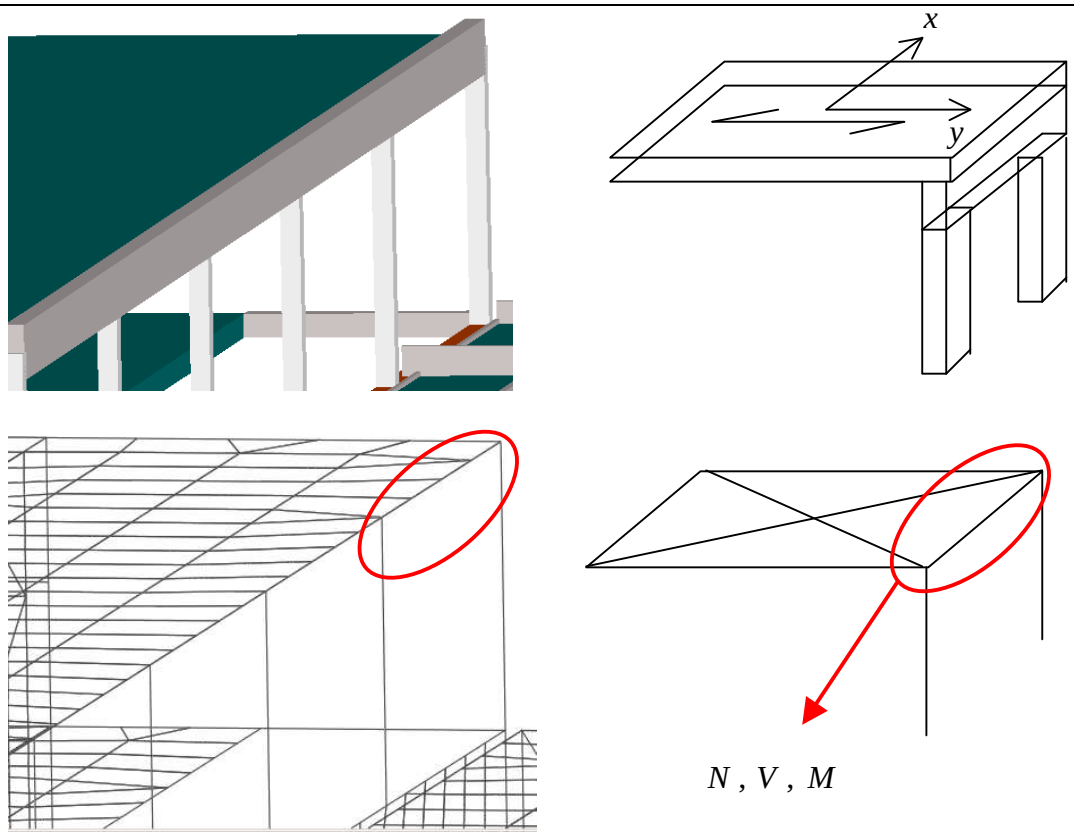


Fig. 3.11 Maillage en éléments finis d'une structure dalle-poutre-poteaux

Lors du calcul de la structure par la Méthode des Eléments Finis, le logiciel détermine les sollicitations de cet élément filaire.
Puis en phase d'exploitation des résultats, le logiciel répartit les sollicitations calculées pour cet élément filaire entre la dalle et la poutre.
Même si lors d'un calcul de poutre en béton armé « manuel », on considère l'épaisseur de la dalle comme faisant partie de la poutre, la répartition des sollicitations effectuée par le logiciel CBS Pro entre l'élément dalle et l'élément poutre rend les résultats inexploitables pour un élément poutre.

La figure 3.12 montre, à titre d'exemple, la répartition du moment de flexion M de l'élément filaire entre la dalle et la poutre, d'où la présence d'un moment M_{xx} dans la dalle (pourtant modélisée comme portant uniquement dans le sens y) agissant avec le moment M_y de la poutre.

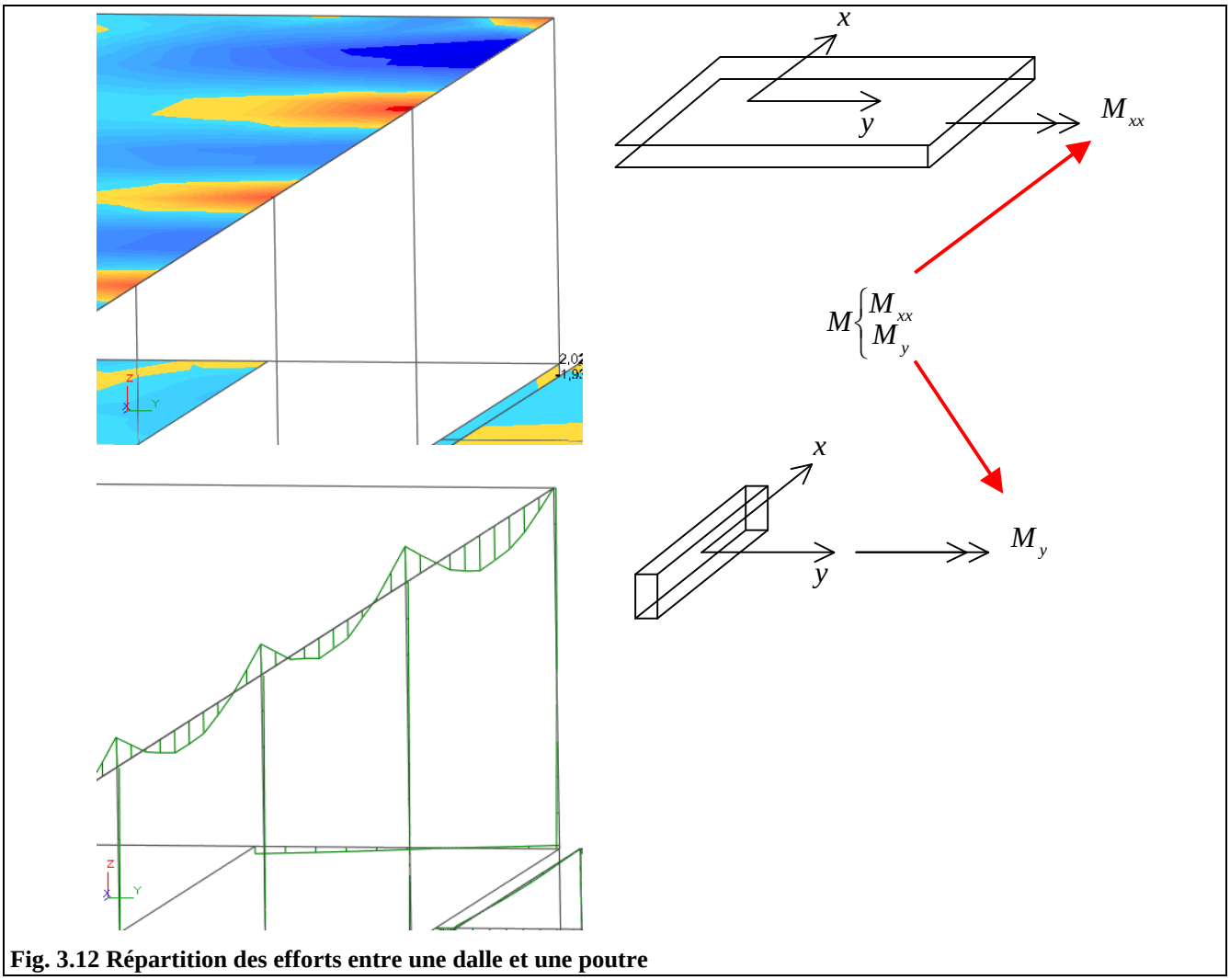


Fig. 3.12 Répartition des efforts entre une dalle et une poutre

L'annexe 5.5 présente plus en détail le défaut du logiciel dans le cas de l'exploitation des résultats de la poutre R+2 Axe G.
On en conclut que les résultats d'un élément poutre sont inexploitables et qu'il est dangereux de les « exporter », bien que cela soit possible, vers le logiciel ROBOT Millenium puisque cela conduirait à un sous-dimensionnement de la poutre.

3.4.6 Dalle

Dans le cas du séisme, indépendamment de sa fonction portante, la dalle joue le rôle de « poutre au vent », elle assure la distribution des forces horizontales dans son plan entre les éléments participant au contreventement. Dans le cadre de la vérification sismique, on s'intéresse donc aux sollicitations dans le plan de la dalle.
Cependant, compte tenu des conclusions de l'exploitations des éléments poutres, on ne peut pas non plus se fier aux résultats du logiciel concernant les sollicitations d'une dalle au droit d'un appui sur une poutre.

La vérification sismique consiste donc à assimiler l'élément dalle à une poutre infiniment rigide et indéformable dans son plan et à considérer un chargement horizontal équivalent aux effets du séisme.
Le logiciel CBS Pro n'indiquant pas le chargement équivalent aux effets du séisme, il est possible de le déterminer de manière approchée en relevant les réactions horizontales H dues au séisme en tête de chaque voile de contreventement.
Ainsi, à partir des réactions horizontales H, on peut déterminer l'effet global E du séisme agissant dans le plan de la dalle, puis le chargement horizontal équivalent.
La figure 3.13 schématise le principe de cette méthode.

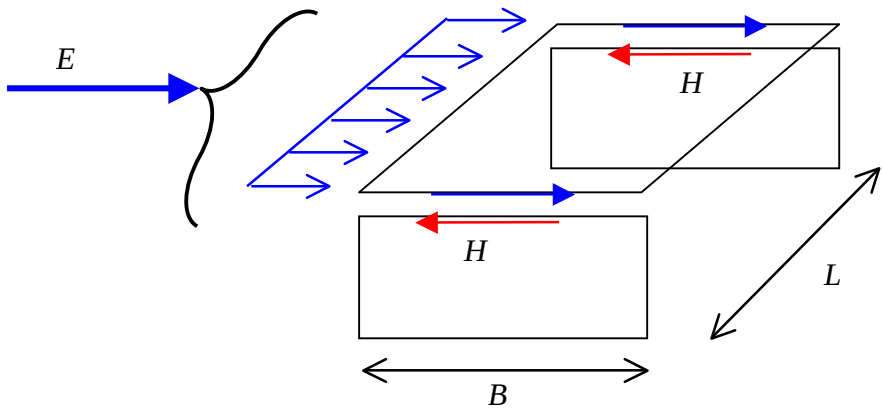


Fig. 3.13 Principe de vérification d'une dalle

L'annexe 5.6 présente l'exploitation des résultats selon cette méthode pour la dalle haut R+2.
Cette approche par calcul manuel permet une estimation des efforts et justifie l'importance de la règle de chaînage minimal de 3 cm² (soit 4HA10) en périphérie des dalles (PS 92/11.5).

Ainsi l'exploitation des résultats a permis de déterminer des procédures de vérification au séisme des éléments : semelle isolée, semelle filante, voile, poteau et dalle et, dans le cas de l'élément poutre, elle a permis de montrer les limites du logiciel.
Ces procédures de vérification serviront de base pour développer l'utilisation du logiciel CBS Pro au sein de SBE Ingénierie.

Finalement, l'étude sismique du Collège du Piémont a permis l'assimilation du fonctionnement du logiciel CBS Pro, une étape nécessaire pour permettre son développement au sein de SBE Ingénierie.

4 Guide Méthodologique pour SBE Ingénierie

On possède à présent les données nécessaires au développement du logiciel au sein de SBE Ingénierie, l'objectif du PFE.
La dernière étape du PFE consiste donc à élaborer, à partir de ces données, un moyen permettant d'atteindre cet objectif.
On commence par faire le point sur la situation actuelle dans le Département Structure.

4.1 Etat des lieux

Le temps passé au sein du Département Structure pendant le PFE et l'expérience acquise lors de l'utilisation du logiciel CBS Pro permettent de faire diverses observations.

Le Département Structure possède :

- Les bases de modélisation d'une structure avec le logiciel CBS Pro
- Les connaissances des Règles PS 92
- La maîtrise du logiciel ROBOT Millenium
- Des ouvrages traitant des calculs de vérification sismique

Le manuel d'utilisation du logiciel CBS Pro :

- Donne les bases de modélisation d'une structure
- Ne donne pas de démarche pour le calcul sismique
- Ne contient pas de procédures d'exploitation des résultats

SBE Ingénierie possède les compétences internes ainsi qu'un outil informatique nécessaires au calcul sismique.

4.2 Analyse du besoin

Il ressort des échanges avec les collaborateurs du Département Structure différents besoins concernant le logiciel CBS Pro :

- Une méthode de mise en œuvre du calcul sismique propre au logiciel.
  En effet, l'ordre des étapes du calcul sismique propre au logiciel n'est explicité nulle part.

- Des procédures d'exploitation des résultats.
  En effet, les résultats du logiciel ne permettent pas à eux seuls la vérification sismique ; ils nécessitent d'être exploités par l'utilisateur.

4.3 Elaboration d'un Guide Méthodologique

Finalement, il résulte de l'état actuel et de l'analyse du besoin que la solution adaptée au Département Structure est la rédaction d'un « Guide Méthodologique d'Utilisation du logiciel CBS Pro ».

L'objectif de ce Guide n'est pas de paraphraser ou de vulgariser le manuel existant, mais de le compléter en proposant une démarche méthodologique pour la mise en œuvre du logiciel CBS Pro, de la modélisation à la vérification sismique.
Par ailleurs, compte tenu de l'état des lieux, la conception du guide se fait en supposant acquis des bases de modélisation d'une structure. Ces bases sont expliquées de manière suffisamment claire dans le manuel existant du logiciel CBS Pro.
Néanmoins des rappels du manuel sont nécessaires dans le but de marquer certaines étapes essentielles à la démarche méthodologique.

Aussi, le Guide peut finalement devenir l'unique outil de travail de l'utilisateur du logiciel CBS Pro et être utilisé de manière indépendante du manuel existant.
De même, on suppose que l'utilisateur possède des connaissances des Règles PS 92. Le Guide ne s'attardera donc pas en justifications.
La trame du Guide suit la démarche de l'étude sismique propre au logiciel CBS Pro. Chaque étape des phases de modélisation, de calcul et d'exploitation des résultats est détaillée sous la forme d'une série d'instructions opératoires accompagnées d'« images écran » afin de rendre le Guide aussi simple et aussi clair que possible.

Finalement, le Guide rédigé ci-après est le résultat de l'étude visant à développer l'utilisation du logiciel CBS Pro au sein de SBE Ingénierie. Le Guide n'est pas exhaustif, il est le fruit de l'étude menée sur les capacités du logiciel CBS Pro et de l'expérience acquise lors de son application au cas du Collège du Piémont.
L'étude d'autres projets que le Collège du Piémont aurait probablement mis en exergue d'autres fonctionnalités ou d'autres problèmes dans l'utilisation du logiciel CBS Pro.
Ainsi ce Guide doit-il être continuellement complété par l'expérience acquise lors de nouveaux projets.

Conclusion

SBE Ingénierie a fait l'acquisition du logiciel CBS Pro dans le but d'avoir un outil informatique d'aide au calcul de structure et plus particulièrement au calcul sismique. Cependant, le manque de temps, de procédures de modélisation et d'explications pour l'exploitation des résultats ne permettaient pas une utilisation optimale du logiciel.
Aussi, afin de répondre au besoin de SBE Ingénierie qui est de développer l'utilisation de ce logiciel, on s'est appuyé sur l'étude du Collège du Piémont à Heiligenstein-Barr pour se confronter à la réalité du calcul sismique.

Le PFE a commencé par le recueil des informations nécessaires à l'étude en posant les hypothèses concernant le Collège du Piémont. Il a fallu déterminer la contrainte admissible du sol, les caractéristiques des matériaux et les charges d'exploitation.
Ensuite il a été nécessaire de définir les paramètres sismiques et de comprendre le principe des deux méthodes de calcul des Règles PS 92, à savoir la méthode simplifiée et la méthode générale.
La vérification des conditions d'applications de la méthode simplifiée a montré que le Collège du Piémont doit être considéré comme irrégulier. A ce titre, il ne permet pas l'utilisation de cette méthode qui présente donc des limites dans son application.
Au vu de ce constat, il a été nécessaire d'avoir recours à l'outil informatique, le logiciel CBS Pro, pour le calcul sismique par la méthode générale.

L'étude sismique du Collège du Piémont a commencé dans un premier temps par la phase de modélisation du projet à partir des hypothèses définies précédemment.
Dans un deuxième temps, la phase de calcul sismique a nécessité de détailler les différentes étapes : sélection des modes, combinaisons des réponses modales, combinaisons des réponses sismiques et combinaisons d'actions.
A l'issue de cette phase de calcul, on aboutit dans un troisième temps à la phase de résultats.
L'étude et l'exploitation des résultats obtenus par le logiciel a conduit à la détermination de procédures de vérification sismique des éléments : semelle isolée, semelle filante, voile, poteau et dalle. Dans le cas de l'élément poutre, elles ont permis de montrer les limites du logiciel.

Finalement, les données nécessaires au développement du logiciel au sein de SBE Ingénierie étant réunies, on a été amené à faire un état des lieux et une analyse du besoin afin de déterminer précisément la solution adaptée au Département Structure.

Il résulte de l'utilisation du logiciel que le manuel d'utilisation existant est incomplet. Par ailleurs, il ressort des échanges avec les collaborateurs un besoin en méthode de mise en œuvre du calcul sismique et de procédures d'exploitation des résultats.
Ainsi, l'objectif du Projet de Fin d'Etudes a été atteint grâce à la rédaction d'un Guide Méthodologique d'Utilisation du logiciel CBS Pro, fort de l'expérience acquise lors de l'étude sismique du Collège du Piémont.

L'étude sismique d'un bâtiment est une étude complexe ne permettant qu'une approche du comportement réel de la structure lors d'un séisme. Il faut donc garder un regard critique sur les résultats. De plus il ne faut pas perdre de vue que la construction parasismique d'un ouvrage ne réside pas que dans le calcul mais commence dès la conception de celui-ci.

Bibliographie

[1] V. DAVIDOVICI, La Construction en zone sismique, Editions Le Moniteur, 1999

[2] V. DAVIDOVICI, Formulaire de béton armé, volume 2, Editions Le Moniteur, 1997

[3] P. LEZTUZZI, M. BADOUX, Cours de Génie Parasismique Cycle Master, EPFL, 2005

[4] Norme NF P 06-013, Règles de construction parasismique, Règles PS applicables aux bâtiments – PS92, Eyrolles, 1996

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Guide Méthodologique d'Utilisation du logiciel CBS Pro

Auteur : Damien JEHL
Elève ingénieur INSA Strasbourg, spécialité Génie Civil, option construction

Sommaire

1 Remarques préliminaires 4
1.1 Objectifs du Guide 4
1.2 Mise en page 4
1.3 Sauvegarde des fichiers 5
2 Modélisation 6
2.1 Valeurs par défaut 6
2.2 Définition des axes 7
2.3 Définition de la structure 7
2.4 Modification de la hauteur d'étage 8
2.5 Modification des appuis 9
2.6 Charges courantes 10
2.7 Charge sismique 11
2.7.1 Norme et Méthode de calcul 11
2.7.2 Paramètres de l'Analyse sismique 12
2.7.3 Coefficient de comportement 13
2.7.4 Paramètres de l'Analyse modale 14
3 Calcul sismique 15
3.1 Combinaisons des modes propres 15
3.2 Combinaisons des directions sismiques 16
3.3 Combinaisons d'actions 17
3.3.1 Création automatique des combinaisons d'actions 17
3.3.2 Création manuelle d'une combinaison d'actions 18
3.4 Options de calcul 19
3.4.1 Sol 19
3.4.2 Dimensionnement des éléments BA 20
3.4.3 Calculs 21
3.5 Calcul de la structure 22
3.6 Sélection des modes 23
3.6.1 Affichage de l'Analyse modale 23
3.6.2 Détermination du nombre de modes à calculer 24
3.6.3 Augmentation du nombre de modes propres 25
3.6.4 Application d' un facteur de majoration 26
3.7 Raffinement du maillage 27
4 Résultats 28
4.1 Accès aux résultats en vue générale 28
4.2 Accès aux résultats en vue détaillée 29
4.3 Déformations 30
5 Vérification sismique 31
5.1 Semelle isolée 31
5.2 Semelle filante sous mur continu 32
5.3 Voile 34
5.4 Poteau 36
5.5 Poutre 37
5.6 Dalle 37
Bibliographie 39

Liste des figures

Fig. 1.1 Mise en page 4
Fig. 1.2 Sauvegarde des fichiers 5
Fig. 2.1 Paramétrage des valeurs par défaut 6
Fig. 2.2 Définition du système d'axes 7
Fig. 2.3 Définition de la structure 7
Fig. 2.4 Modification de la hauteur d'étage 8
Fig. 2.5 Modification des appuis 9
Fig. 2.6 Charges courantes 10
Fig. 2.7 Norme et Méthode de calcul 11
Fig. 2.8 Paramètres de l'Analyse sismique 12
Fig. 2.9 Coefficient de comportement 13
Fig. 2.10 Paramètres de l'Analyse modale 14
Fig. 3.1 Combinaisons des modes propres 15
Fig. 3.2 Combinaisons des directions sismiques 16
Fig. 3.3 Création automatique des combinaisons d'actions 17
Fig. 3.4 Création manuelle d'une combinaison d'actions 18
Fig. 3.5 Options de calcul 19
Fig. 3.6 Sol 19
Fig. 3.7 Dimensionnement des éléments BA 20
Fig. 3.8 Calculs 21
Fig. 3.9 Calcul de la structure 22
Fig. 3.10 Affichage de l'Analyse modale 23
Fig. 3.11 Résultats de l'Analyse modale 23
Fig. 3.12 Organigramme de sélection du nombre de modes propres 24
Fig. 3.13 Augmenter le nombre de modes propres 25
Fig. 3.14 Application d'un facteur de majoration 26
Fig. 3.15 Raffinement du maillage 27
Fig. 4.1 Résultats en vue générale 28
Fig. 4.2 Résultats en vue par élément 29
Fig. 4.3 Déformations 30
Fig. 5.1 Vérification d'une semelle isolée 31
Fig. 5.2 Relevé des résultats pour une semelle filante 32
Fig. 5.3 Feuille de calcul de vérification d'une semelle filante 33
Fig. 5.4 Notation des résultats d'un voile 34
Fig. 5.5 Vérification d'un voile 35
Fig. 5.6 Vérification d'un poteau 36
Fig. 5.7 Principe de vérification d'une dalle 37
Fig. 5.8 Vérification d'une dalle 38

1 Remarques préliminaires

1.1 Objectifs du Guide

La conception du Guide s'est faite en partant du principe que l'utilisateur possède déjà les bases de modélisation d'une structure, telles qu'expliquées dans le manuel existant du logiciel CBS Pro. Néanmoins certains rappels du manuel figureront dans ce Guide dans le but de marquer les étapes essentielles.
Ainsi le Guide peut être utilisable indépendamment du manuel existant pour finalement devenir l'unique outil de travail de l'utilisateur du logiciel CBS Pro.

De même, on part du principe que l'utilisateur possède des connaissances des Règles PS 92 [1]. Le Guide ne s'attardera donc pas en justifications. Ainsi, les différentes étapes des phases de modélisation, de calcul et d'exploitation des résultats se présenteront sous la forme d'une série d'instructions opératoires accompagnées d' « images écran » afin de rendre la démarche méthodologique du Guide aussi simple et aussi claire que possible.

Par ailleurs le présent Guide traite spécifiquement de la vérification sismique de bâtiments contreventés par voiles en béton armé.

Enfin, ce Guide se base sur la version 19 du logiciel CBS Pro. On note cependant qu'une nouvelle version est sortie en juin 2007 et semble déjà présenter des améliorations conséquentes.

1.2 Mise en page

Pour le bon rendu des impressions de résultats, on rappelle qu'il faut redéfinir les marges dans la fenêtre *Mise en page* accessible par le menu *Fichiers/Configuration de l'impression*.

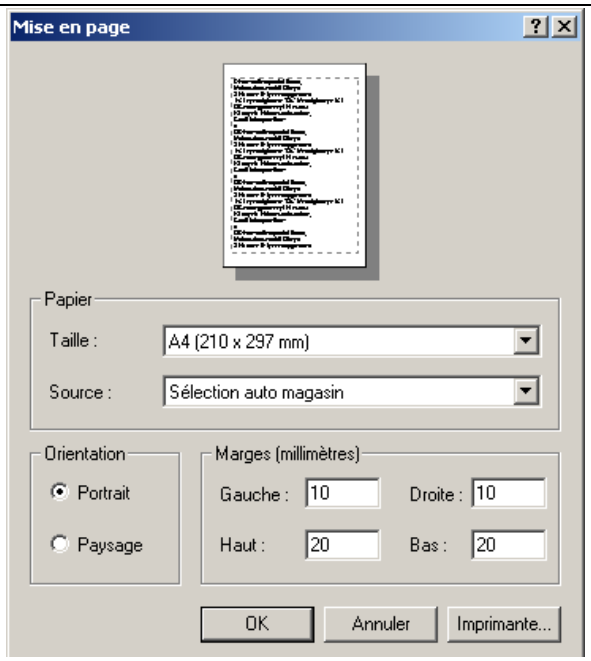


Fig. 1.1 Mise en page

1.3 Sauvegarde des fichiers

Comme tout projet informatique, il est prudent de sauvegarder son travail de manière régulière et incrémentale afin de toujours pouvoir revenir en arrière en cas d'erreur sur le modèle.
De plus, il faut différencier les sauvegardes entre la phase de modélisation et la phase de calcul.
En effet, une fois que des options de calcul ont été définies au début de la phase de calcul, il n'est plus possible de modifier les paramètres d'appuis des différents éléments (sens de portée des dalles, encastrement d'une poutre, etc.).

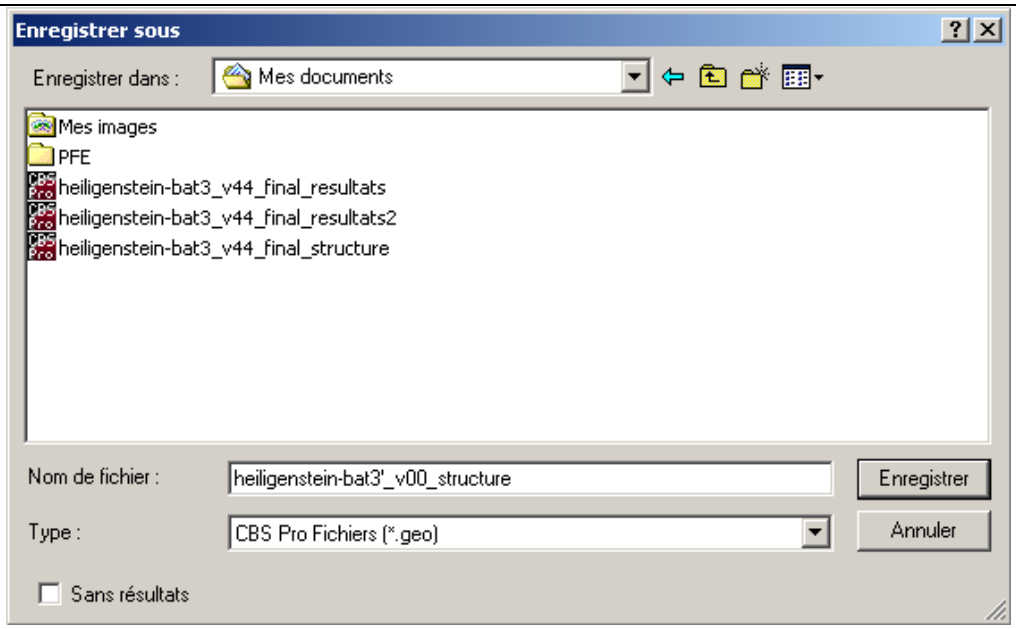


Fig. 1.2 Sauvegarde des fichiers

Il est donc fortement conseillé de différencier le nom des fichiers de sauvegarde entre les deux phases :

- En phase modélisation : « nom du projet_version numero_structure »
- En phase calcul, puis en phase résultats : « nom du projet_version numero_résultats »

Toute modification du modèle doit se faire sur un fichier « structure » n'ayant jamais « subi » de calcul et non sur un fichier « résultats ».

2 Modélisation

2.1 Valeurs par défaut

Il est possible de programmer les valeurs par défaut des sections et des matériaux de chaque type d'élément via les menus :

- *Edition/Valeurs par défaut/Sections* pour les sections
- *Edition/Valeurs par défaut/Matériaux* pour les matériaux

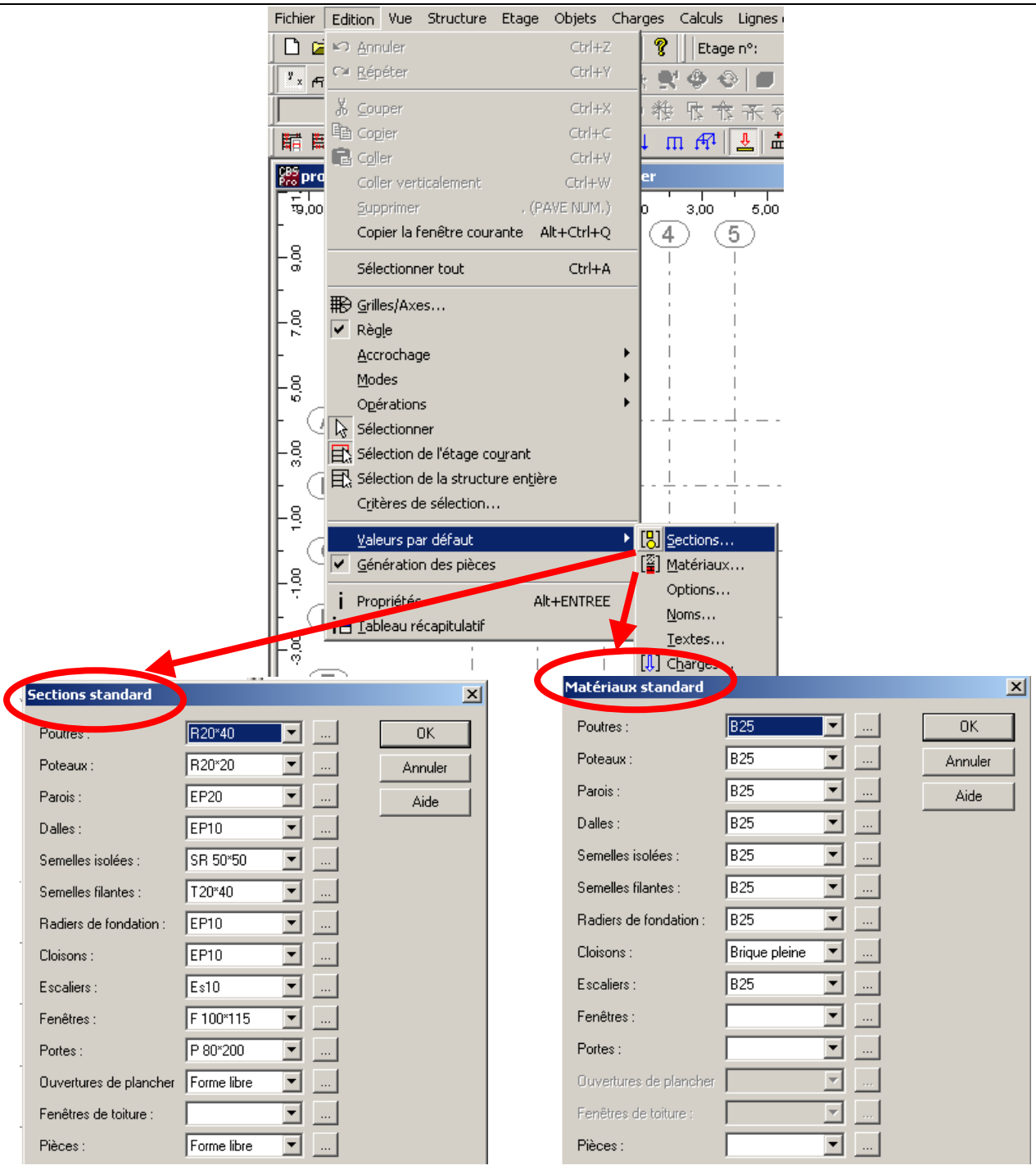


Fig. 2.1 Paramétrage des valeurs par défaut

2.2 Définition des axes

La création d'un système d'axes (axes des plans architectes par exemple) est une étape essentielle de la phase de modélisation. Le menu *Edition/Grilles/Axes* permet d'accéder à la fenêtre *Grilles* et d'y ajouter des axes.

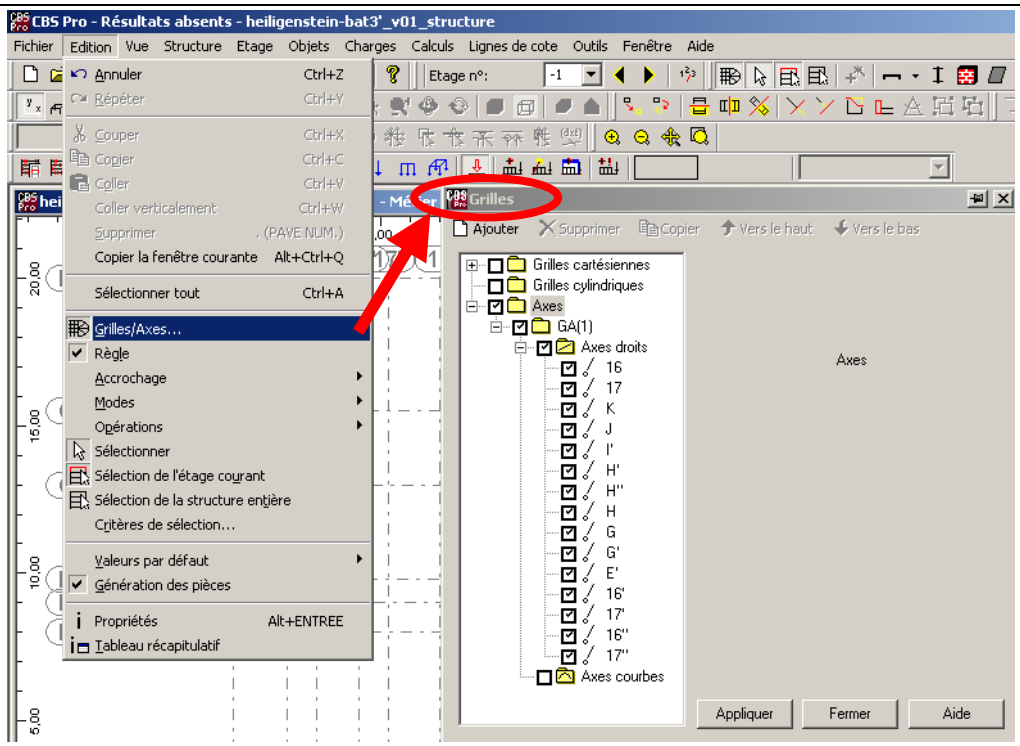


Fig. 2.2 Définition du système d'axes

2.3 Définition de la structure

On définit à cette étape la structure en insérant les différents éléments disponibles : semelle isolée, semelle filante, voile, poteau poutre et dalle. Cette étape n'est pas détaillée puisqu'elle constitue des bases de modélisation supposées acquises.

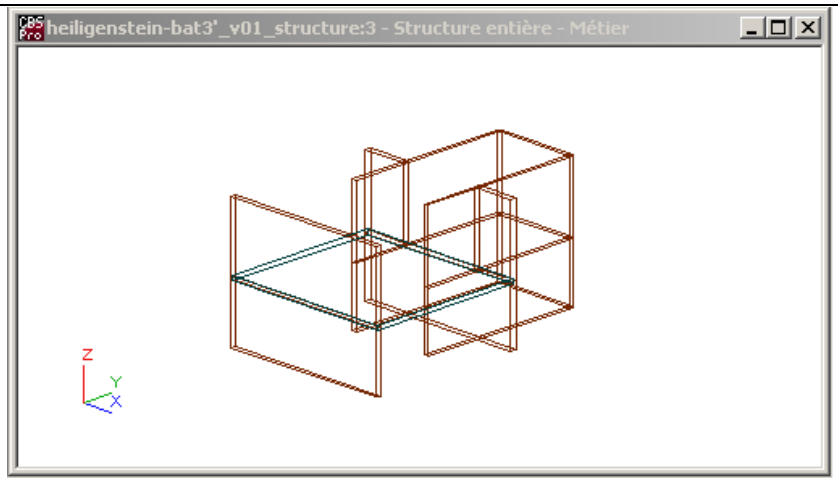


Fig. 2.3 Définition de la structure

2.4 Modification de la hauteur d'étage

Il faut ensuite définir la hauteur de chaque étage créé.

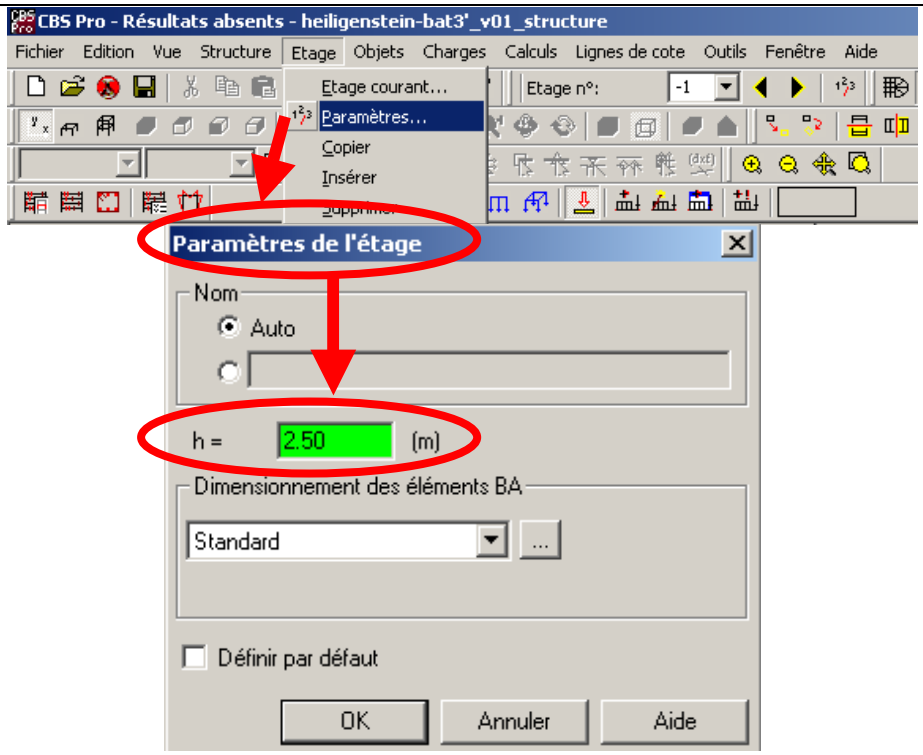


Fig. 2.4 Modification de la hauteur d'étage

Pour ce faire :

- Accéder à la fenêtre *Paramètres de l'étage* par le menu *Etage/Paramètres*
- Saisir la valeur de la hauteur *h* de l'étage courant
- Valider

2.5 Modification des appuis

Il est également possible de modifier les conditions d'appuis de certains éléments. Dans tous les cas, la modification se fait en sélectionnant un objet, puis en accédant au menu *Edition/Propriétés*, puis à l'onglet *Option de calcul* de la fenêtre *Propriétés des objets*.

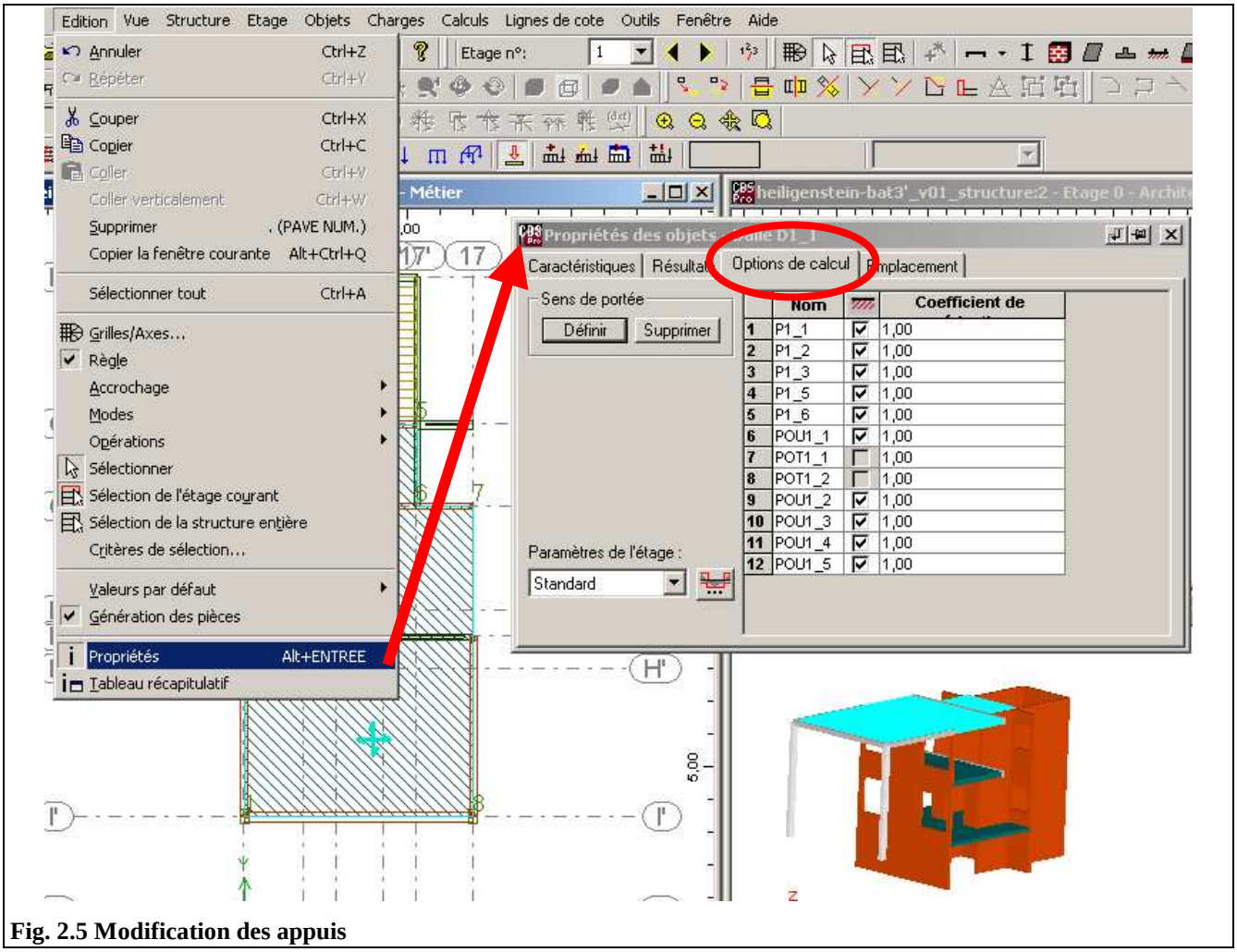


Fig. 2.5 Modification des appuis

Les éléments dont il est possible de modifier les conditions d'appuis sont les suivants :

- poutre : extrémités rotulées ou non
- semelle isolée : liaison rotule ou encastrement
- dalle : éléments porteurs et sens de portée

2.6 Charges courantes

Les charges courantes (permanente, d'exploitation et de neige) sont définies par l'utilisateur selon les normes en vigueur. De plus, on rappelle que le poids propre des éléments structuraux modélisés est pris en compte automatiquement par le logiciel. Il suffit donc, dans le cas des charges permanentes, de définir les Compléments de Charge Permanente (CCP) en fonction des éléments secondaires (revêtement de sol, faux plafonds, isolation, …) non modélisés.

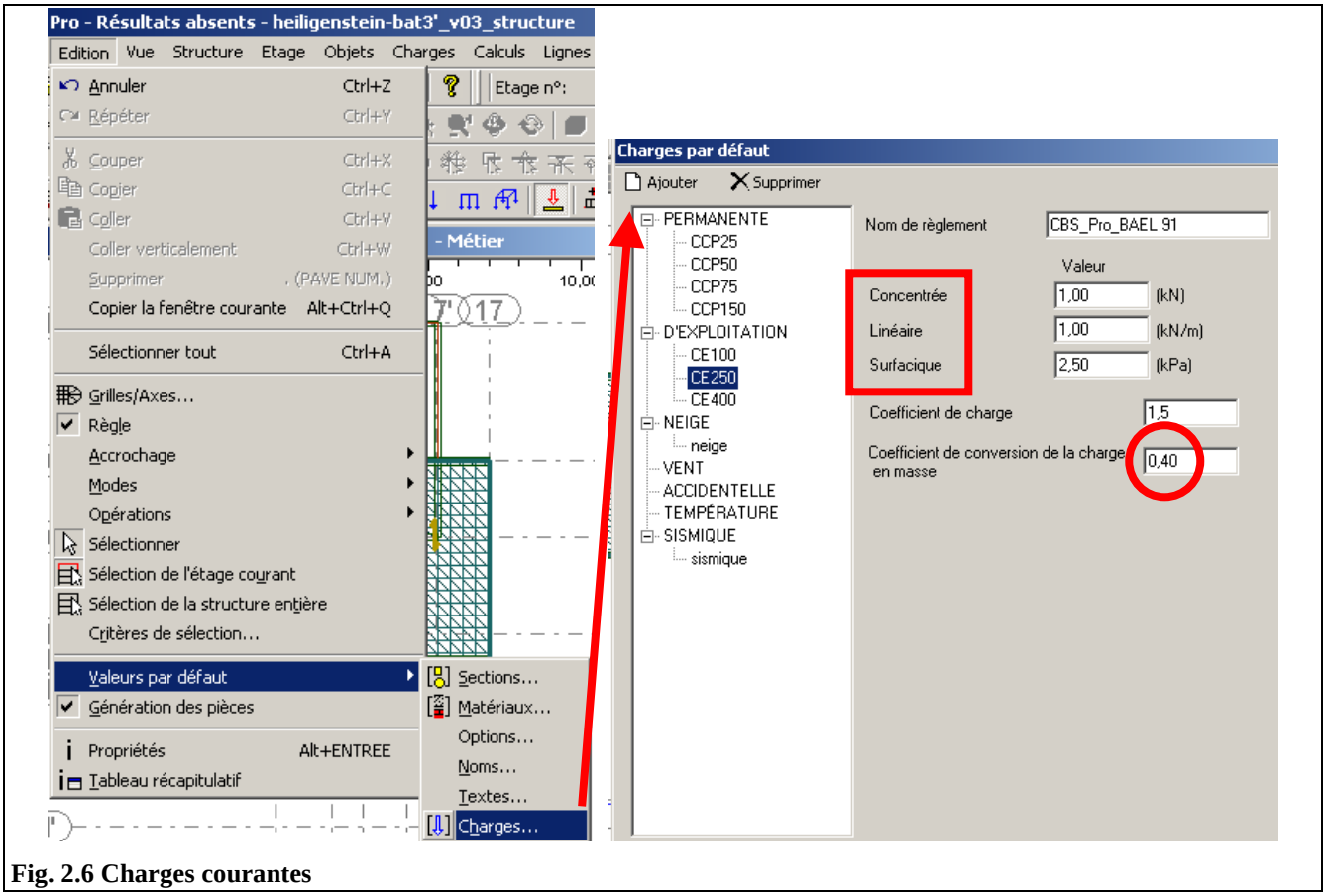


Fig. 2.6 Charges courantes

Pour ce faire :

- Accéder à la fenêtre *Charges par défaut* par le menu *Edition/Valeurs par défaut/Charges*
- Sélectionner le type de charge souhaité (*PERMANENTE*, *EXPLOITATION* ou *NEIGE*)
- Cliquer sur *Ajouter* et renommer la charge ainsi créée en cliquant 1 fois dessus
- Saisir la valeur de la charge selon le type souhaité (*Concentrée*, *Linéaire*, *Surfacique*)
- Saisir la valeur du *Coefficient de conversion de la charge en masse* : il s'agit en fait du coefficient de masse partielle utilisé pour la modélisation sismique (PS 92/6.2.1)
- Valider
- Appliquer les charges sur le modèle

2.7 Charge sismique

La charge sismique, contrairement aux charges courantes, est calculée par le logiciel.
Les points développés dans cette partie correspondent aux paramètres à définir pour permettre au logiciel d'effectuer le calcul sismique.

2.7.1 Norme et Méthode de calcul

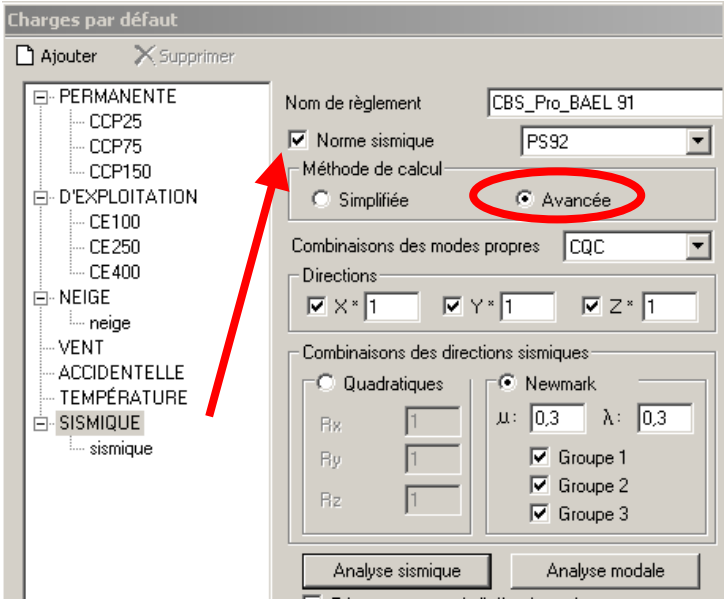


Fig. 2.7 Norme et Méthode de calcul

- Accéder à la fenêtre *Charges par défaut* par le menu *Edition/Valeurs par défaut/Charges*
- Sélectionner le cas de charge *SISMIQUE*
- Cocher l'option *Norme sismique*
- Sélectionner la norme *PS92* dans le menu déroulant à droite
- Cocher *Avancée* dans le choix de la *Méthode de calcul*
  La *Méthode de calcul Avancée* correspond à la méthode générale (PS 92/6.6.2) par analyse modale, seule méthode étudiée dans ce Guide pour le calcul sismique.
- Passer à l'étape suivante : *2.7.2 Paramètres de l'Analyse sismique*

2.7.2 Paramètres de l'Analyse sismique

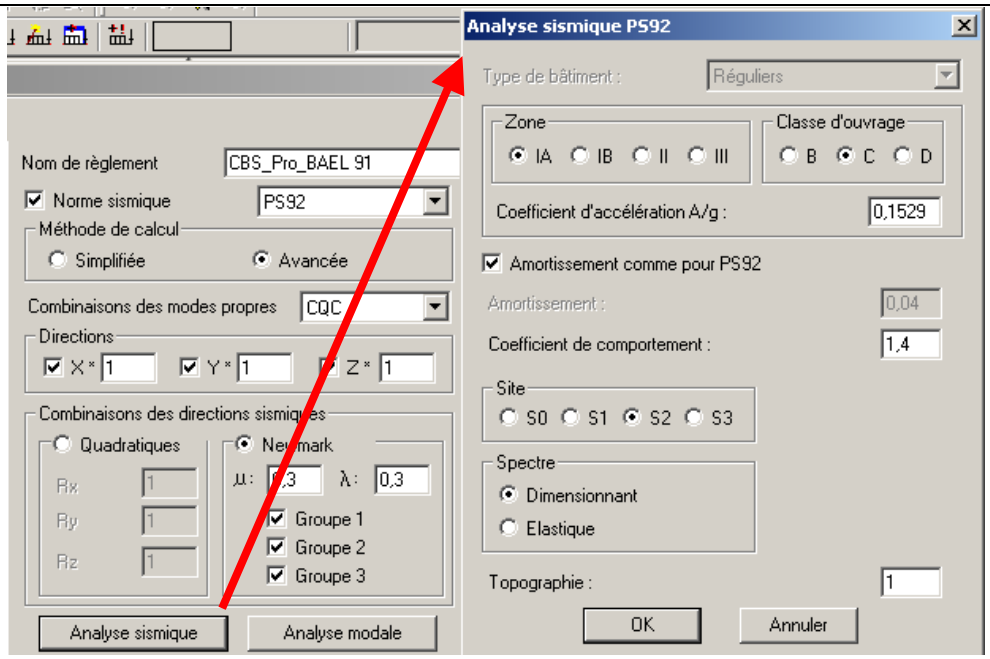


Fig. 2.8 Paramètres de l'Analyse sismique

- Accéder à la fenêtre *Analyse sismique PS92* en cliquant sur *Analyse sismique*
- Sélectionner la *Zone* Ia, Ib, II ou III
  Elle est généralement rappelée dans le rapport d'étude géotechnique.
- Sélectionner la *Classe d'ouvrage* (Annexe 2 des Règles PS 92)
  On note que le *Coefficient d'accélération* A/g est en fait le rapport de l'accélération nominale a_N (PS 92/3.3) et de l'accélération terrestre g=9.81m/s^2. Le *Coefficient d'accélération* A/g est calculé automatiquement par le logiciel à partir des données saisies pour la *Zone* et la *Classe d'ouvrage*.
- Cocher l'option *Amortissement comme pour PS92*
- Sélectionner le type de *Site* (PS 92/5.2.2)
  Il est généralement défini dans le rapport d'étude géotechnique.
- Cocher *Spectre/Dimensionnant*
- Saisir la valeur du coefficient de *Topographie* τ (PS 92/5.2.4)
- Valider
- Passer à l'étape suivante : *2.7.3 Coefficient de comportement*

2.7.3 Coefficient de comportement

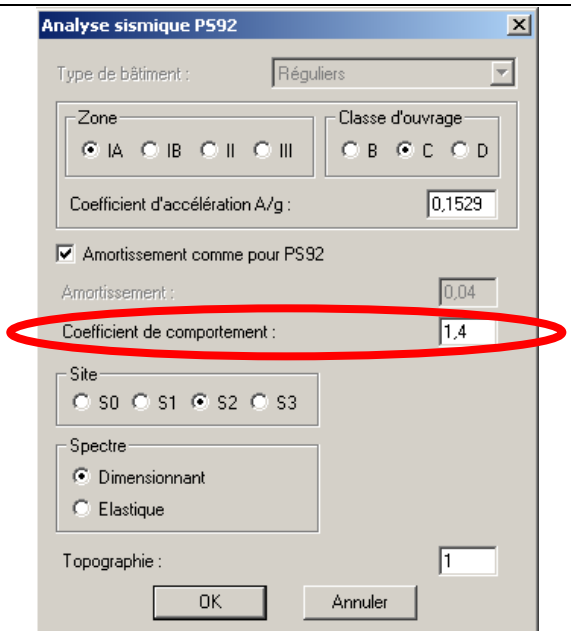


Fig. 2.9 Coefficient de comportement

Le coefficient de comportement (PS 92/6.3.3) est fonction de la classe de régularité de la structure (PS92/6.6.1) et du matériau. Le coefficient de comportement est défini pour chaque matériau dans le chapitre des Règles PS 92 le concernant (§11.7 pour le béton armé, §13.4 pour la construction métallique et §14.4 pour la construction bois).
Cependant le logiciel ne permet la saisie que d'une valeur de coefficient de comportement pour toute la structure. Dans le cas des structures composites, il existe plusieurs solutions permettant de contourner ce problème :

- On inventorie les coefficients de comportement de chaque matériau composant la structure. On applique ensuite la plus faible des valeurs de coefficient de comportement.
  Cette solution simple présente tout de même l'inconvénient de surévaluer certains efforts de dimensionnement mais va dans le sens de la sécurité.

- On applique un coefficient de comportement $q=1$. Les efforts obtenus correspondent alors à ceux du calcul élastique. Puis en phase d'exploitation des résultats, selon le matériau de l'élément considéré, on divise manuellement les efforts obtenus par le coefficient de comportement adéquat.
  Cette solution, bien qu'exacte, complique la phase d'exploitation des résultats.

- On applique le coefficient d'un des matériaux composant la structure. On lance le calcul de la structure et on procède uniquement à l'exploitation des résultats des éléments composés de ce matériau. On procède ainsi avec chacun des matériaux composants la structure.
  Cette solution bien que longue à mettre en œuvre (il y a autant de calculs à effectuer qu'il y a de matériaux différents) permet d'obtenir des résultats exacts et directement exploitables.

- Choisir l'une des méthode ci-dessus
- Saisir la valeur du *Coefficient de comportement* (PS 92/6.3.3)
- Valider
- Passer à l'étape suivante : *2.7.4 Paramètres de l'Analyse modale*

2.7.4 Paramètres de l'Analyse modale

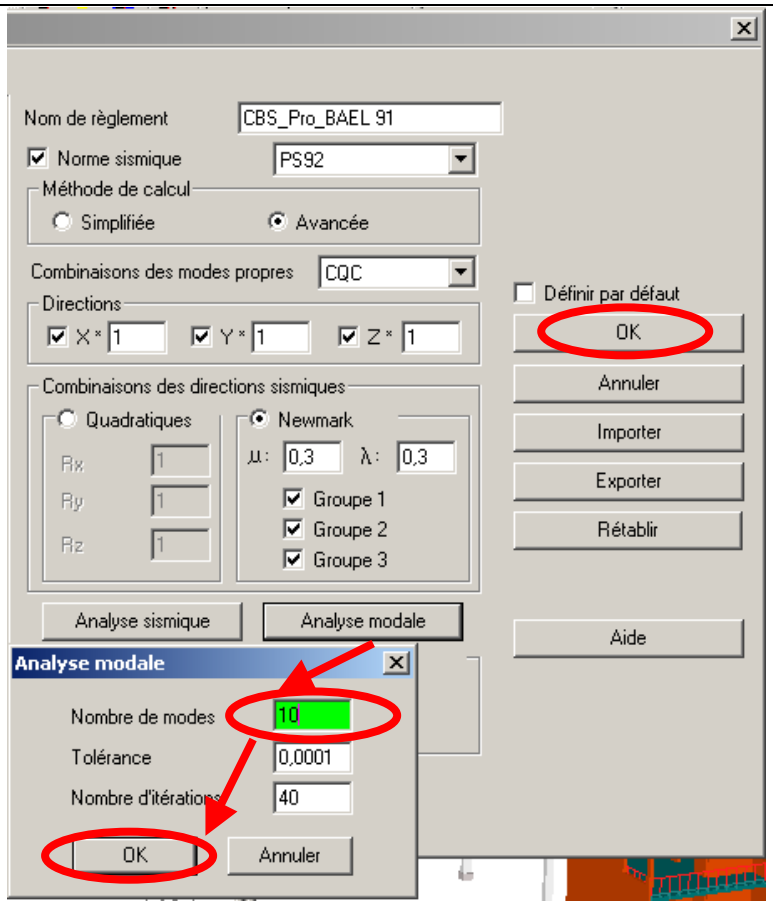


Fig. 2.10 Paramètres de l'Analyse modale

- Accéder à la fenêtre *Analyse modale* en cliquant sur *Analyse modale*
- Saisir la valeur 10 pour le *Nombre de modes*
- Valider l'*Analyse modale*
- Valider la *Charge sismique*

On note qu'on sera amené ultérieurement à modifier le nombre de modes calculés, mais les instructions données ici se font selon la démarche méthodologique propre au Guide.

3 Calcul sismique

3.1 Combinaisons des modes propres

Les réponses modales issues de l'analyse modale doivent être combinées (PS 92/6.6.2.3) pour déterminer les effets du séisme dans chaque direction.

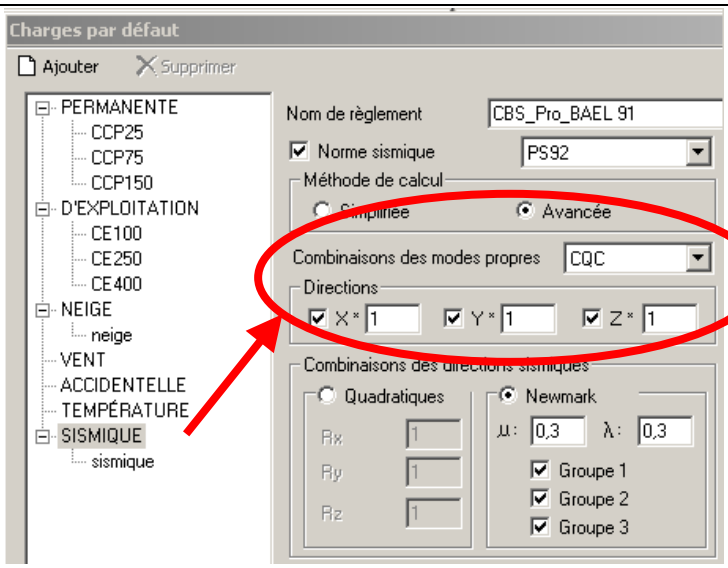


Fig. 3.1 Combinaisons des modes propres

- Accéder à la fenêtre *Charges par défaut* par le menu *Edition/Valeurs par défaut/Charges*
- Sélectionner le cas de charges *SISMIQUE*
- Sélectionner l'option *CQC* dans le menu déroulant de la partie *Combinaisons des modes propres*
- Cocher les *Directions* : *X*, *Y* et *Z*
- Saisir la valeur « 1 » dans les cases à coté de chaque direction.
- Valider

On note qu'on sera amené ultérieurement à modifier certaines de ces options, mais les instructions données ici se font selon la démarche méthodologique propre au Guide.

3.2 Combinaisons des directions sismiques

Les effets du séisme n'étant pas unidirectionnels, il faut considérer la concomitance des effets du séisme dans plusieurs directions (PS 92/6.4).

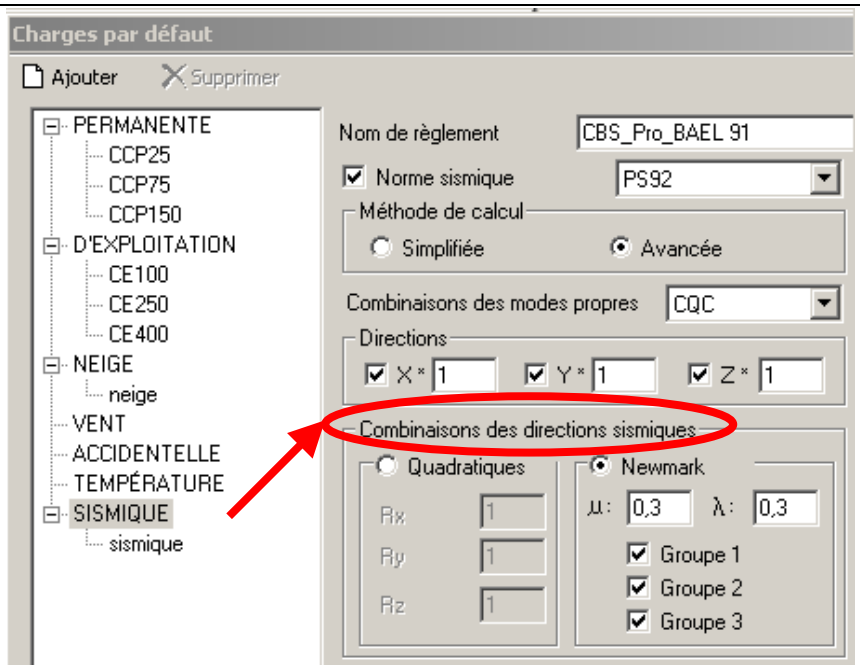


Fig. 3.2 Combinaisons des directions sismiques

- Accéder à la fenêtre *Charges par défaut* par le menu *Edition/Valeurs par défaut/Charges*
- Sélectionner le cas de charges *SISMIQUE*
- Cocher l'option *Newmark* dans la partie *Combinaisons des directions sismiques*
- Saisir la valeur 0,3 pour les coefficients μ et λ
- Cocher les options *Groupe 1*, *Groupe 2* et *Groupe 3*
- Valider

On note que les effets du séisme sont alors combinés selon les formules de *Newmark* :

$$\left.\begin{aligned} E &= \pm E_x \pm 0.3E_y \pm 0.3E_z \\ E &= \pm 0.3E_x \pm E_y \pm 0.3E_z \\ E &= \pm 0.3E_x \pm 0.3E_y \pm E_z \end{aligned}\right\}$$

3.3 Combinaisons d'actions

3.3.1 Création automatique des combinaisons d'actions

Le logiciel génère automatiquement les combinaisons accidentelles de séisme (PS 92/8.1) selon une formule générale qui, dans les cas courants, se ramène aux combinaisons :

$$\left.\begin{aligned} S_{1u}&=G+E+0{,}8Q+0{,}1N \\ S_{1u}&=G+E+0{,}3N \\ S_{2u}&=G+E+0{,}2N+0{,}4Q \end{aligned}\right\}$$

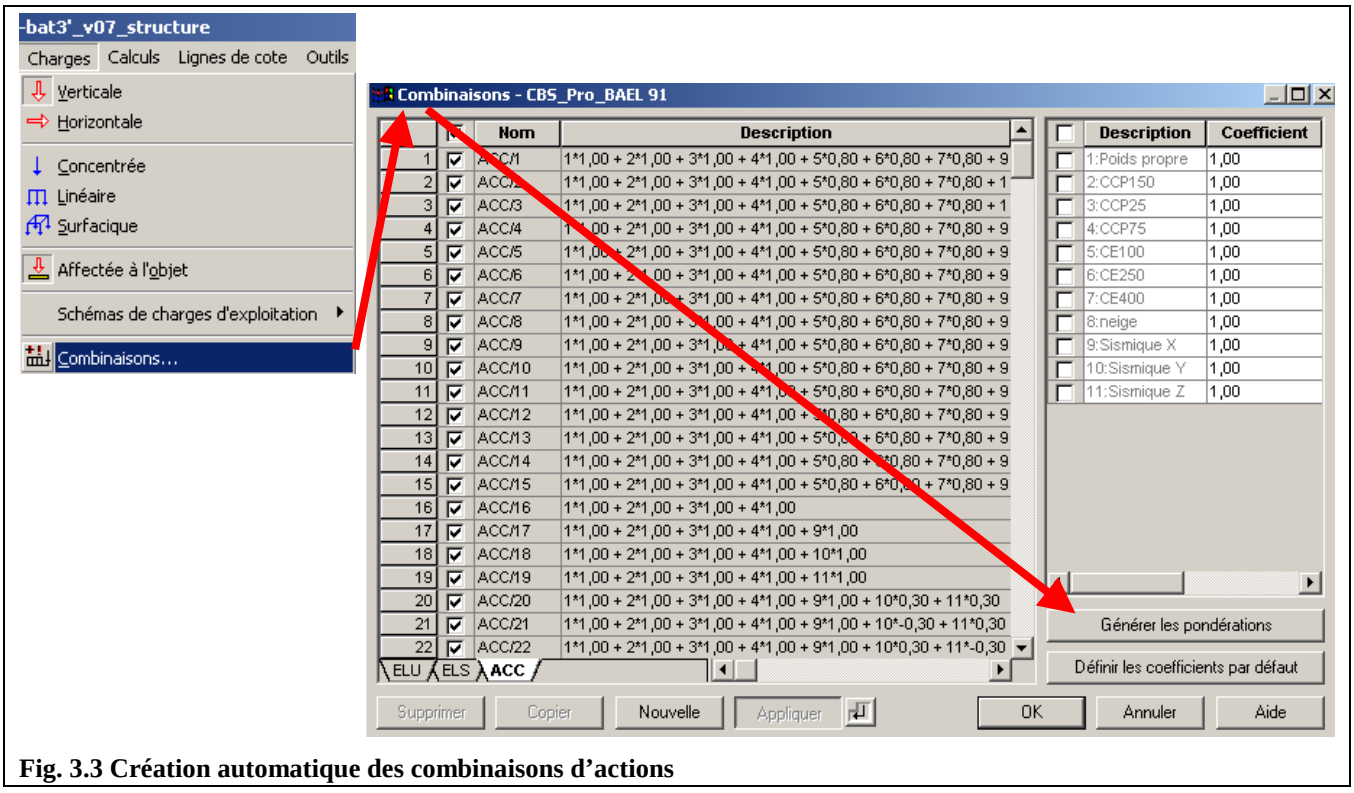


Fig. 3.3 Création automatique des combinaisons d'actions

Pour la création automatique des combinaisons d'actions :

- Accéder à la fenêtre *Combinaisons* par le menu *Charges/Combinaisons*
- Cliquer sur *Générer les pondérations*
- Valider

3.3.2 Création manuelle d'une combinaison d'actions

La vérification de la force portante des fondations superficielles (PS 92/9.5.1.1) se fait selon les combinaisons $S_{1u}=G+Q\pm E$ et $S_{2u}=G\pm E$.

On note cependant que la combinaison $S_{1u}=G+Q\pm E$ est à rajouter « manuellement » aux combinaisons accidentelles générées automatiquement.

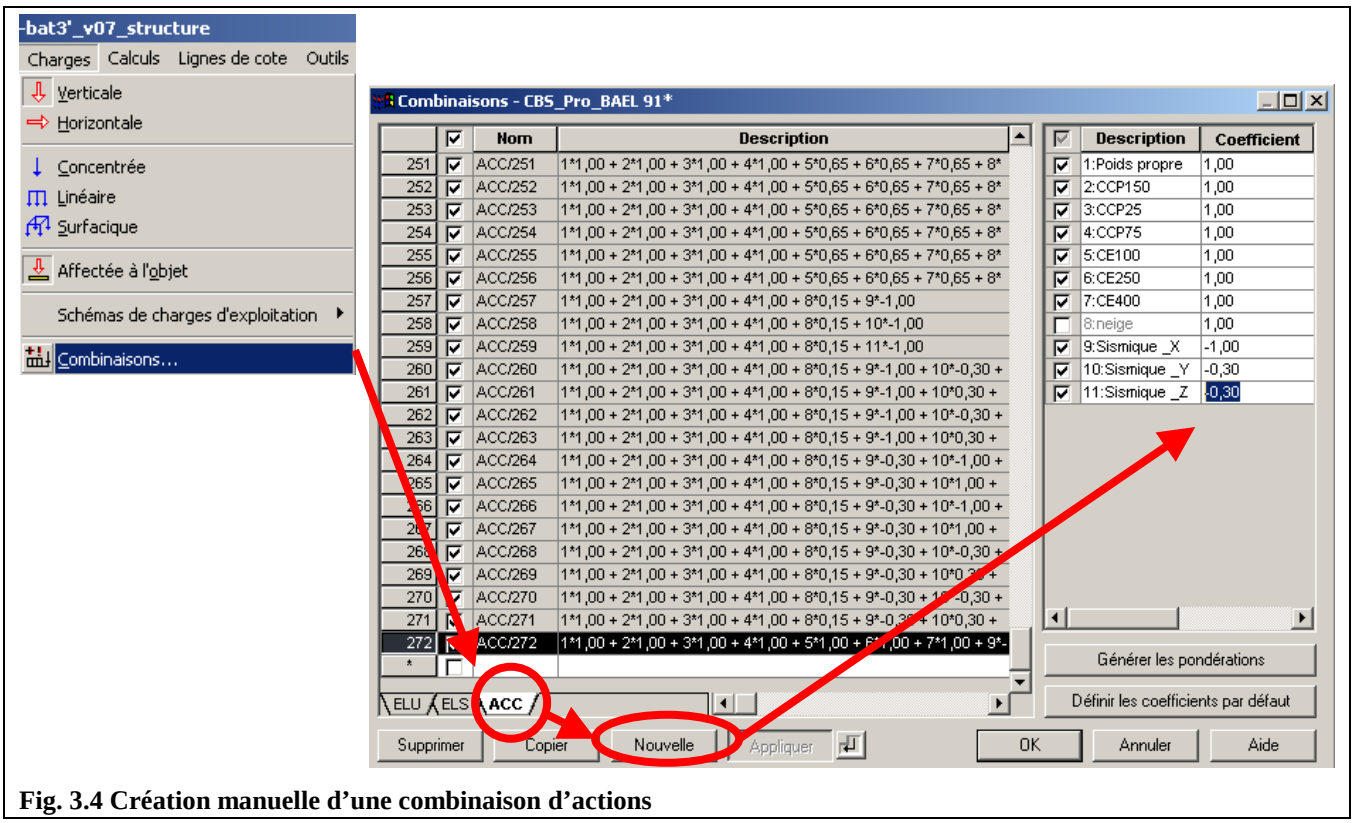


Fig. 3.4 Création manuelle d'une combinaison d'actions

On explique ci-dessous la création de la combinaison $G+Q+E$ avec $E=-1.00E_x-0.30E_y-0.30E_z$:

- Accéder à la fenêtre *Combinaisons* par le menu *Charges/Combinaisons*
- Cliquer sur l'onglet *ACC*
- Cliquer sur le bouton *Nouvelle*
- Cocher les cas de charges permanentes (*Poids propre*, *CCP*), cliquer sur chaque *Coefficient* correspondant et saisir la valeur 1.00
- Cocher les cas de charges d'exploitations (*CE*), cliquer sur chaque *Coefficient* correspondant et saisir la valeur 1.00
- Cocher le cas de charge sismique *Sismique_X*, cliquer sur le *Coefficient* correspondant et saisir la valeur -1.00
- Cocher le cas de charge sismique *Sismique_Y*, cliquer sur le *Coefficient* correspondant et saisir la valeur -0.30
- Cocher le cas de charge sismique *Sismique_Z*, cliquer sur le *Coefficient* correspondant et saisir la valeur -0.30
- Valider

Il faut ensuite procéder de même avec $E=-0.30E_x-1.00E_y-0.30E_z$ et $E=-0.30E_x-0.30E_y-1.00E_z$.

3.4 Options de calcul

Comme indiqué en 1.3, il faut, à partir de ce point, différencier les fichiers de sauvegardes entre la phase de modélisation et la phase de calcul.
Les différents points développés dans cette partie correspondent aux onglets de la fenêtre *Options de calcul* accessible par le menu *Calculs/Options de calcul*.

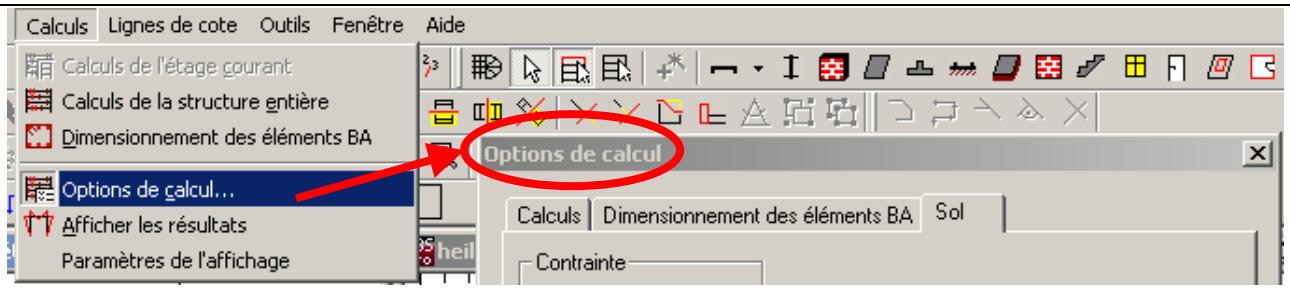


Fig. 3.5 Options de calcul

3.4.1 Sol

La contrainte de rupture du sol q_u se détermine à partir de la contrainte admissible du sol aux ELU q_{ELU} selon le DTU 13.12. Le rapport d'étude géotechnique définit généralement q_{ELU}.

Par ailleurs on note que le coefficient de sécurité partiel S=2 retenu dans le DTU 13.1 aux ELU pour les situations non sismiques est remplacé par S=1.5 (PS 92/9.5.1.1) dans le cas de la vérification sismique.

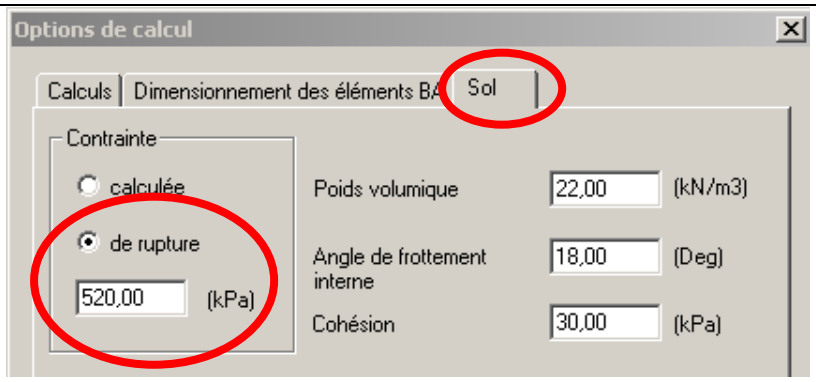


Fig. 3.6 Sol

- Accéder à la fenêtre *Options de calcul* par le menu *Calculs/Options de calculs*
- Cliquer sur l'onglet *Sol*
- Cocher *Contrainte de rupture*
- Saisir la valeur de la *Contrainte de rupture* q_u
- Passer à l'étape 3.4.2 : *Dimensionnement des éléments BA*

3.4.2 Dimensionnement des éléments BA

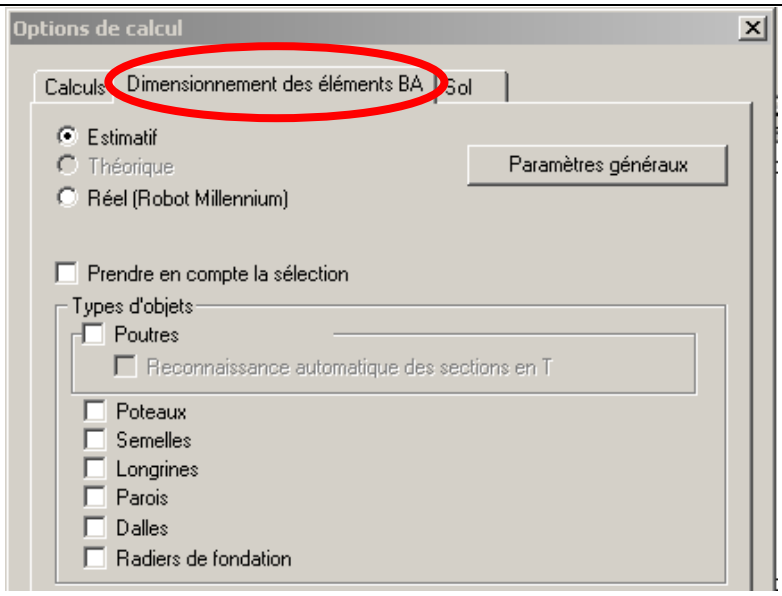


Fig. 3.7 Dimensionnement des éléments BA

- Cliquer sur l'onglet *Dimensionnement des éléments BA*
- Cocher *Estimatif*
- Décocher toutes les autres options
- Passer à l'étape *3.4.3 : Calculs*

On note qu'on sera amené ultérieurement à modifier certaines de ces options mais les instructions données ici se font selon la démarche méthodologique propre au Guide.

3.4.3 Calculs

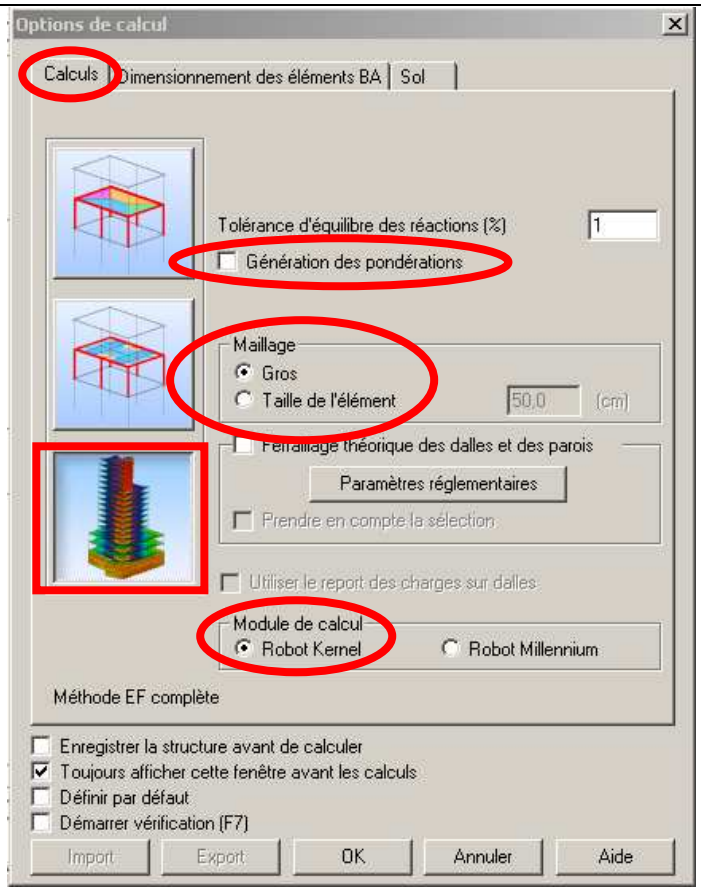


Fig. 3.8 Calculs

- Cliquer sur l'onglet *Calculs*
- Décocher *Génération des pondérations* (les combinaisons d'actions ont déjà été générées)
- Cocher *Maillage Gros*
- Cocher *Méthode Eléments Finis*
- Cocher *Module de calcul Robot Kernel*
- Valider

On note qu'on sera amené ultérieurement à modifier certaines de ces options mais les instructions données ici se font selon la démarche méthodologique propre au Guide.

3.5 Calcul de la structure

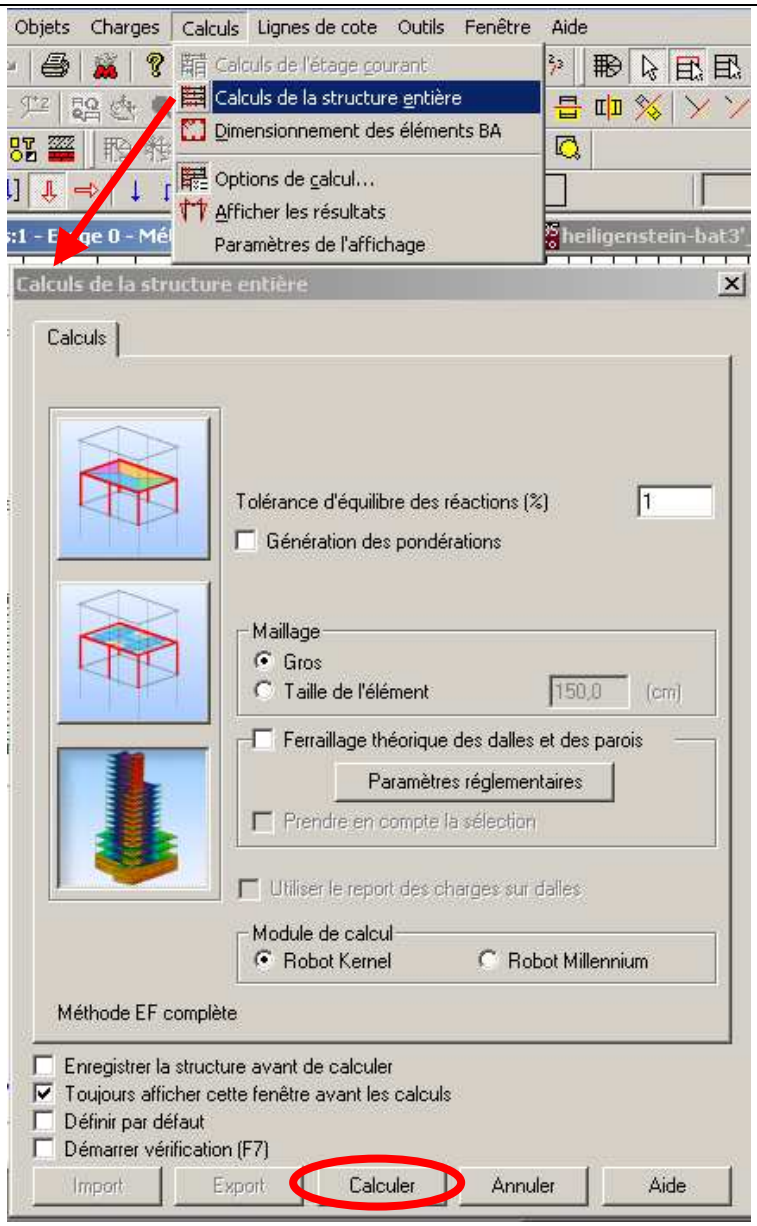


Fig. 3.9 Calcul de la structure

Pour lancer le calcul de la structure :

- Accéder à la fenêtre *Calculs de la structure entière* par le menu *Calculs/Calculs de la structure entière*. On retrouve les éléments cochés à l'étape précédente, sans y apporter de modifications.
- Cliquer sur *Calculer*

Le logiciel procède ensuite au calcul de la structure.

3.6 Sélection des modes

Cette partie explique le processus itératif permettant de respecter les consignes des Règles PS 92 concernant le nombre de modes propres à calculer (PS 92/6.6.2.2).

3.6.1 Affichage de l'Analyse modale

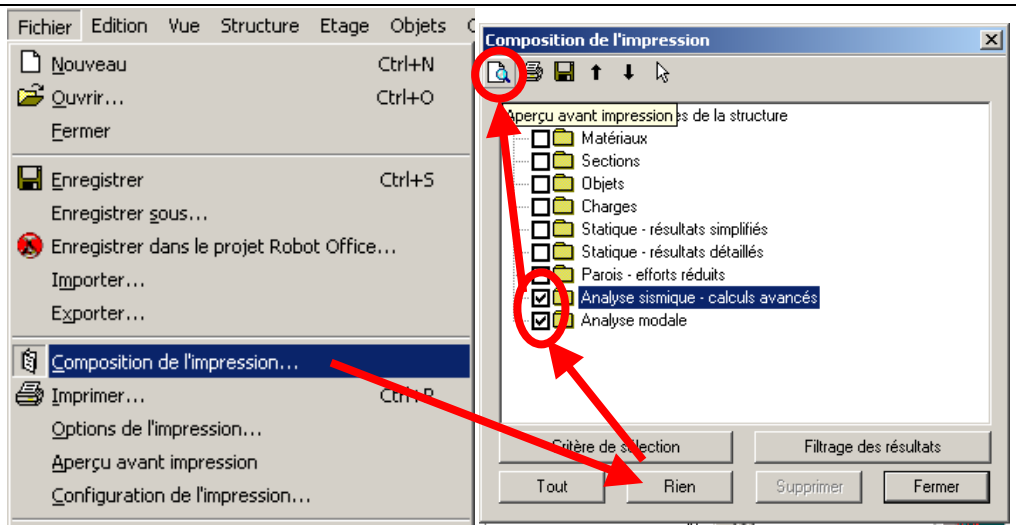


Fig. 3.10 Affichage de l'Analyse modale

On commence par afficher les résultats de l'Analyse modale effectuée lors du calcul de la structure.

- Accéder à la fenêtre *Composition de l'impression* par le menu *Fichier/Composition de l'impression*
- Cliquer sur le bouton *Rien*
- Cocher *Analyse sismique – calculs avancés*
- Cocher *Analyse modale*
- Cliquer sur le bouton d'*Aperçu avant impression*

Résultats de l'analyse modale

N° du mode	Fréquence [Hz]	Participation des masses [%]		
		(Direction X)	(Direction Y)	(Direction Z)
49	50.24	0.00	2.29	0.97
50	51.87	0.00	0.54	1.05
Somme		86.60	92.87	77.85

Fig. 3.11 Résultats de l'Analyse modale

On relève ensuite certains résultats de l'Analyse modale utiles à l'étape suivante :

- Relever le *N°* et la *Fréquence (Hz)* du dernier mode calculé, respectivement notés par la suite n et f_n
- Relever la *Somme de Participation des masses [%]* dans chaque *Direction* (*X*,*Y*,*Z*), notée par la suite $\frac{\sum M_i}{M}$

3.6.2 Détermination du nombre de modes à calculer

Les consignes que doit respecter l'analyse modale concernant le nombre de modes propres calculés peuvent être représentées selon le schéma ci-dessous :

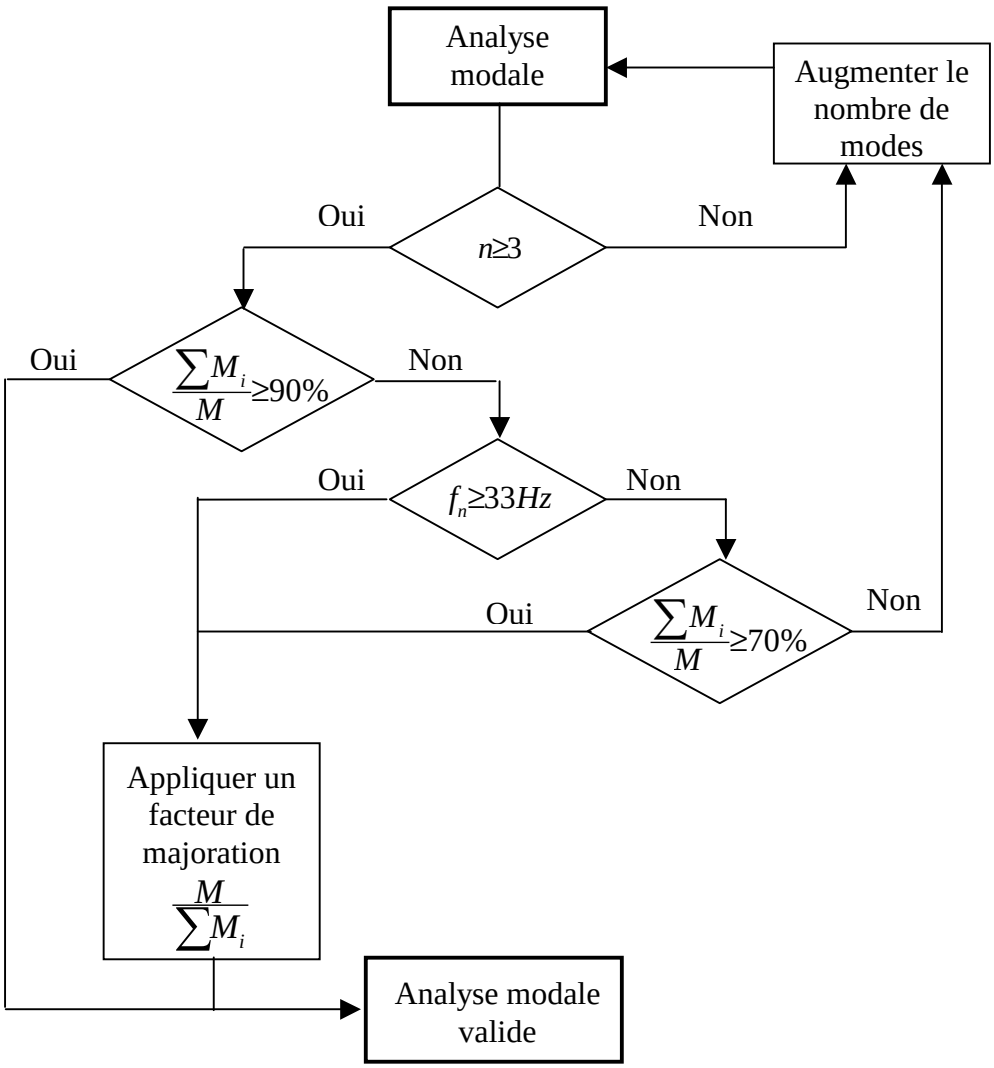


Fig. 3.12 Organigramme de sélection du nombre de modes propres

On soumet les résultats de l'Analyse modale relevés au paragraphe 3.6.1 à l'organigramme dans chaque direction considérée. Trois cas peuvent alors se présenter :

Cas 1 : Analyse modale valide : vérifier la direction suivante, si l'analyse modale est valide dans toutes les directions, on peut passer à l'étape 3.7

Cas 2 : Augmenter le nombre de modes : aller à l'étape 3.6.3

Cas 3 : Appliquer un facteur de majoration : aller à l'étape 3.6.4

3.6.3 Augmentation du nombre de modes propres

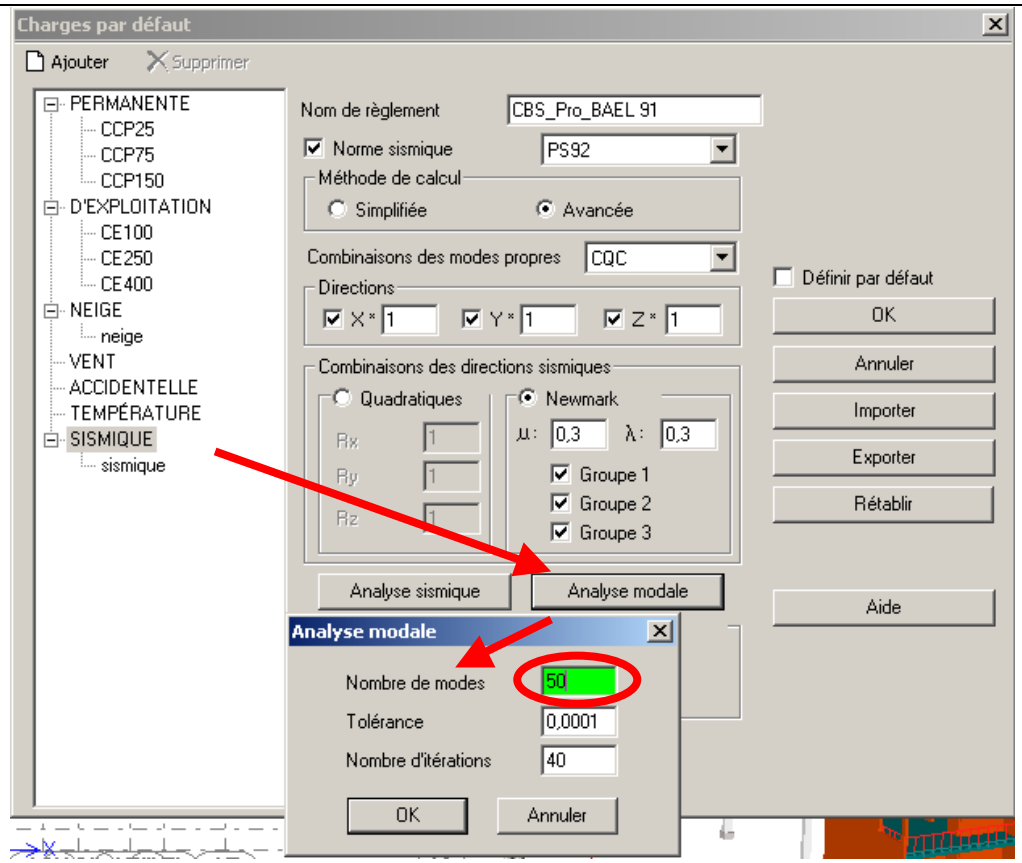


Fig. 3.13 Augmenter le nombre de modes propres

Pour augmenter le nombre de modes propres calculés (Cas 2), procéder comme suit :

- Accéder à la fenêtre *Charges par défaut* par le menu *Edition/Valeurs par défaut/Charges*
- Sélectionner le cas de charge *SISMIQUE*
- Accéder à la fenêtre *Analyse modale* en cliquant sur *Analyse modale*
- Saisir un *Nombre de modes* plus élevé que le précédent
- Valider
- Reprendre à partir de l'étape 3.5

3.6.4 Application d' un facteur de majoration

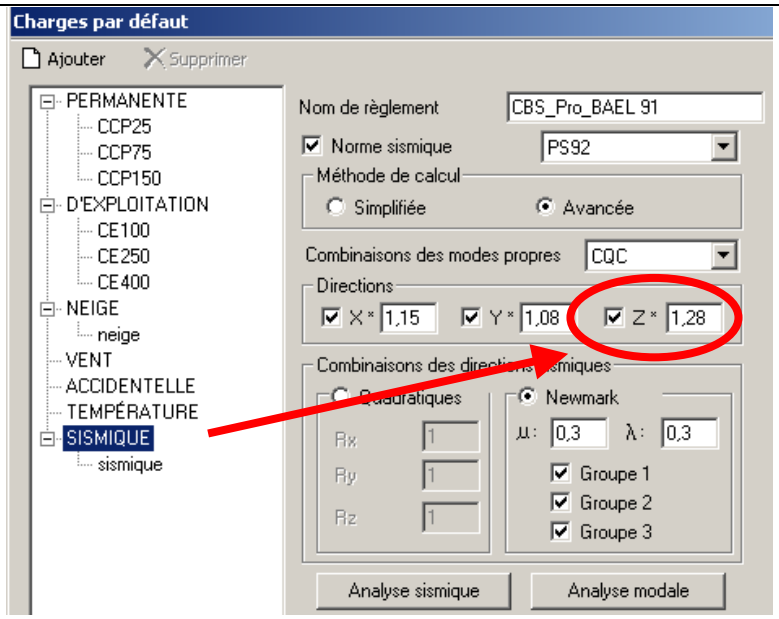


Fig. 3.14 Application d'un facteur de majoration

Pour appliquer un facteur de majoration (Cas 3), procéder comme suit :

- Accéder à la fenêtre *Charges par défaut* par le menu *Edition/Valeurs par défaut/Charges*
- Sélectionner le cas de charges *SISMIQUE*
- Saisir la valeur du coefficient de majoration $\frac{M}{\sum M_i}$ dans la case à coté de la direction considérée
  A titre d'exemple, si, dans la direction considérée, la Somme de Participation des masses est $\frac{\sum M_i}{M}$=77.85%, alors le coefficient de majoration vaut $\frac{M}{\sum M_i}=\frac{1}{77.85\%}=\frac{1}{0.7785}=1.28$
- Valider

Deux cas peuvent alors se présenter :

- Si l'analyse modale est valide dans toutes les directions, relancer un calcul de la structure comme expliqué à l'étape 3.5. puis passer à l'étape 3.7

ou

- Retourner à l'étape 3.6.2 pour vérifier la validité de l'analyse modale dans la direction suivante

3.7 Raffinement du maillage

Enfin, la structure étant figée et tous les paramètres fixés, on peut modifier le maillage de calcul de la structure avant de passer à la phase d'exploitation des résultats. Un maillage plus dense demande un temps de calculs plus important mais permet également d'augmenter la précision des résultats. C'est pourquoi l'étape de raffinement du maillage se fait après les processus itératifs de sélection du nombre de modes propres à calculer.

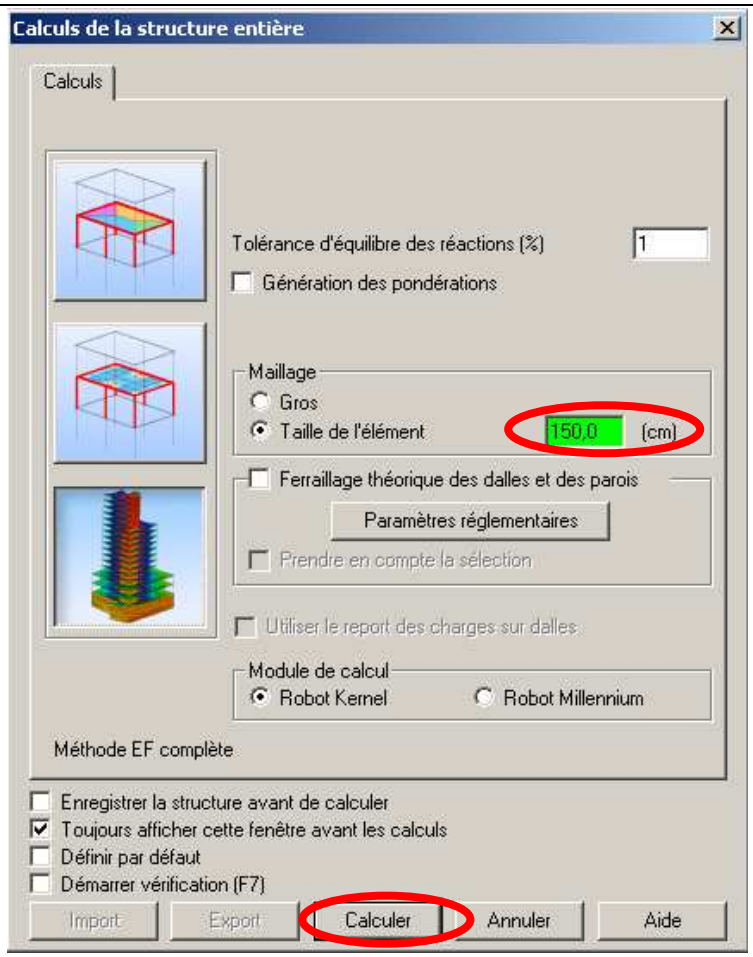


Fig. 3.15 Raffinement du maillage

- Accéder à la fenêtre *Calculs de la structure entière* par le menu *Calculs/Calculs de la structure entière*
- Cocher l'option *Maillage Taille de l'élément*
- Saisir une valeur
  A titre indicatif, l'option *Maillage Gros* correspond à un maillage d'environ 200 cm
- Cliquer sur *Calculer*

Une fois les calculs achevés, on passe à la phase résultats.

4 Résultats

4.1 Accès aux résultats en vue générale

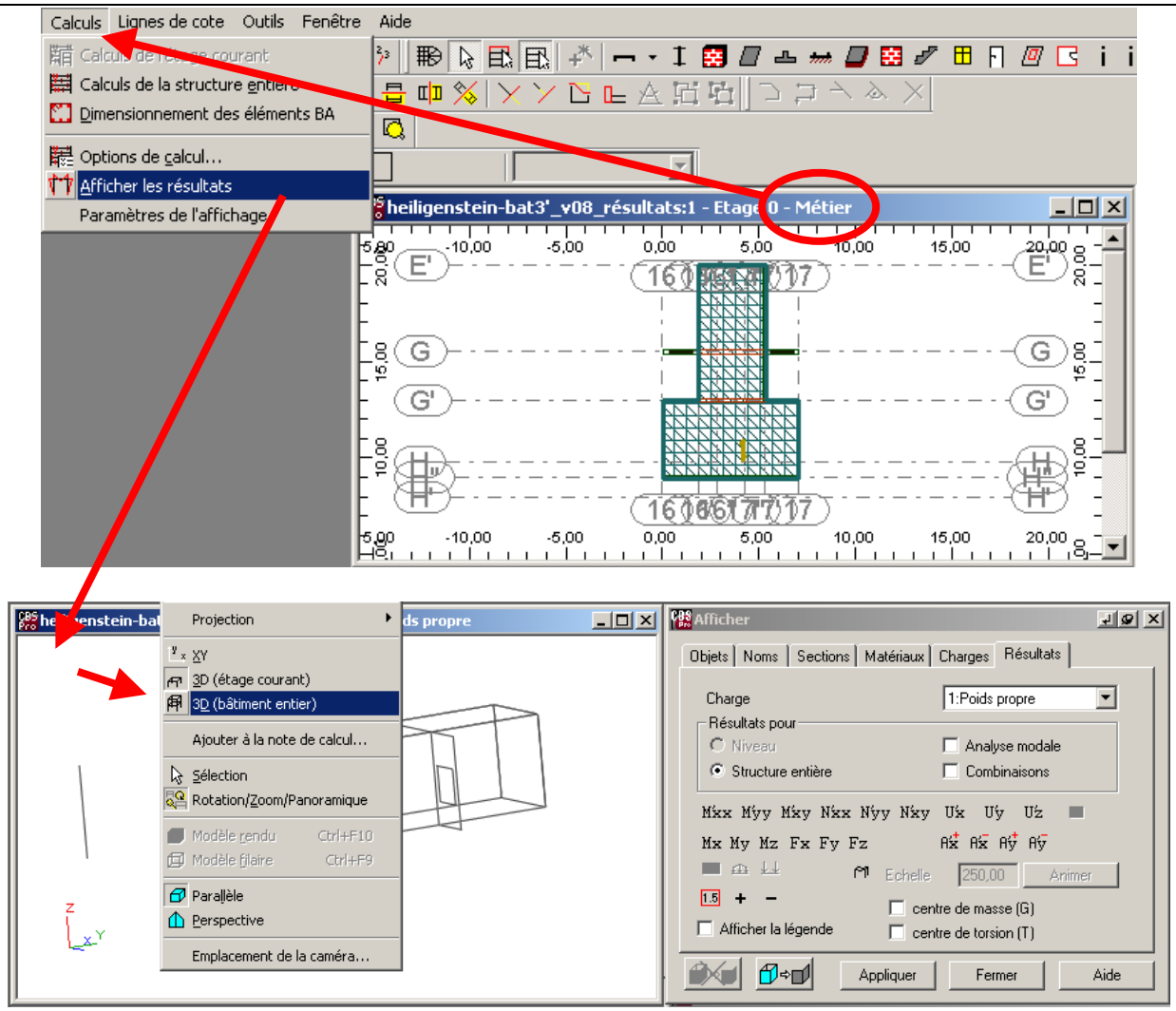


Fig. 4.1 Résultats en vue générale

L'affichage des résultats en vue générale permet de visualiser un type de résultat simultanément sur toute la structure.

- Cliquer sur la fenêtre de vue *Métier*
- Activer la fenêtre *Afficher* par le menu *Calculs/Afficher les résultats*
  La fenêtre métier devient alors la fenêtre d'affichage des résultats en vue générale.
- Faire un *clic droit* n'importe où dans la fenêtre résultats
- Sélectionner *3D (bâtiment entier)*

La fonction d'affichage des résultats en vue détaillée sera réutilisée par la suite.

4.2 Accès aux résultats en vue détaillée

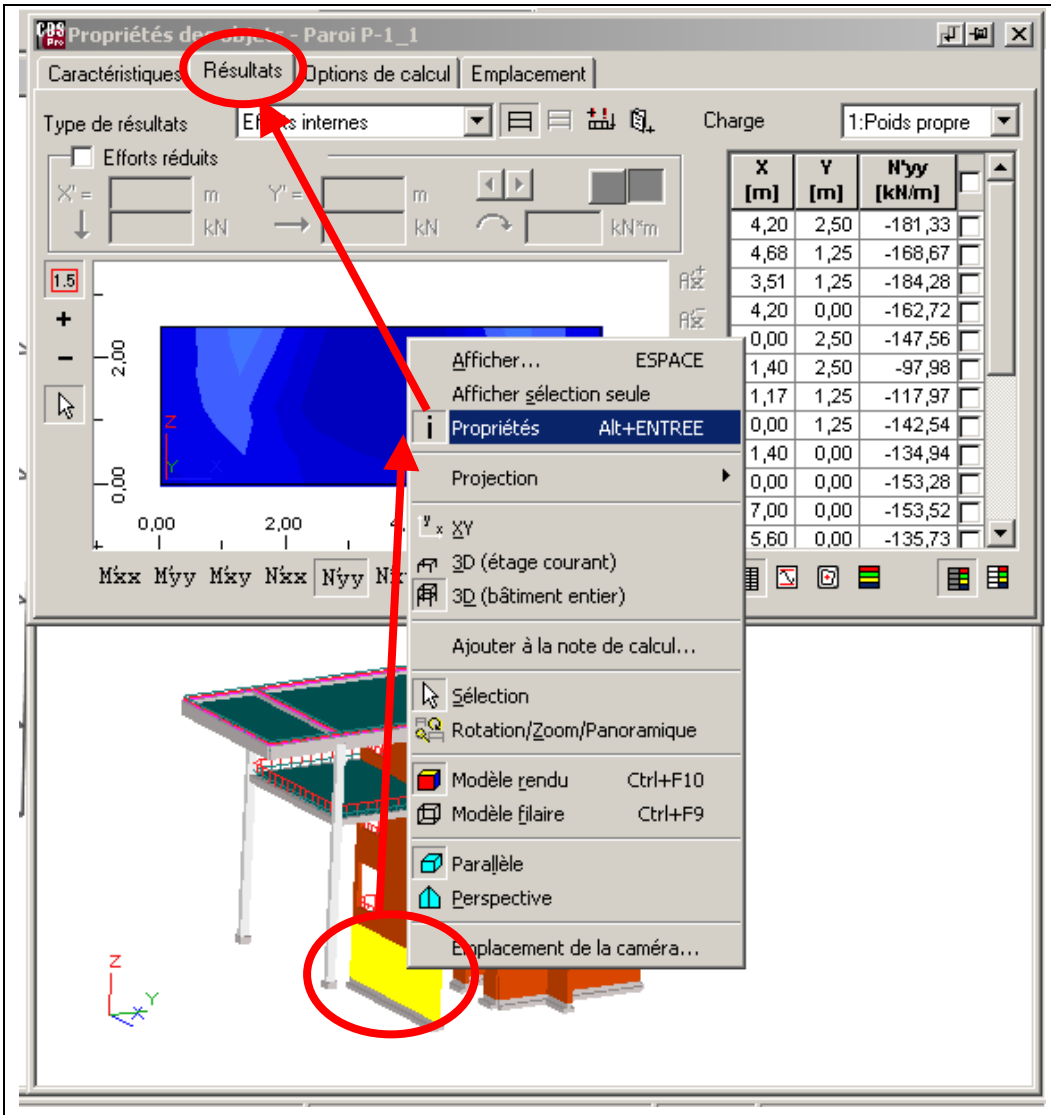


Fig. 4.2 Résultats en vue par élément

L'affichage des résultats en vue détaillée permet de visualiser les résultats d'un élément en particulier.

- Sélectionner un élément
- Faire un clic droit sur l'élément choisi
- Sélectionner *Propriétés*
  La fenêtre des propriétés de l'objet s'ouvre.
- Cliquer sur l'onglet *Résultats*

La fonction d'affichage des résultats en vue détaillée sera réutilisée par la suite.

4.3 Déformations

Cette partie explique comment afficher de manière globale les déformations de la structure dues au séisme.

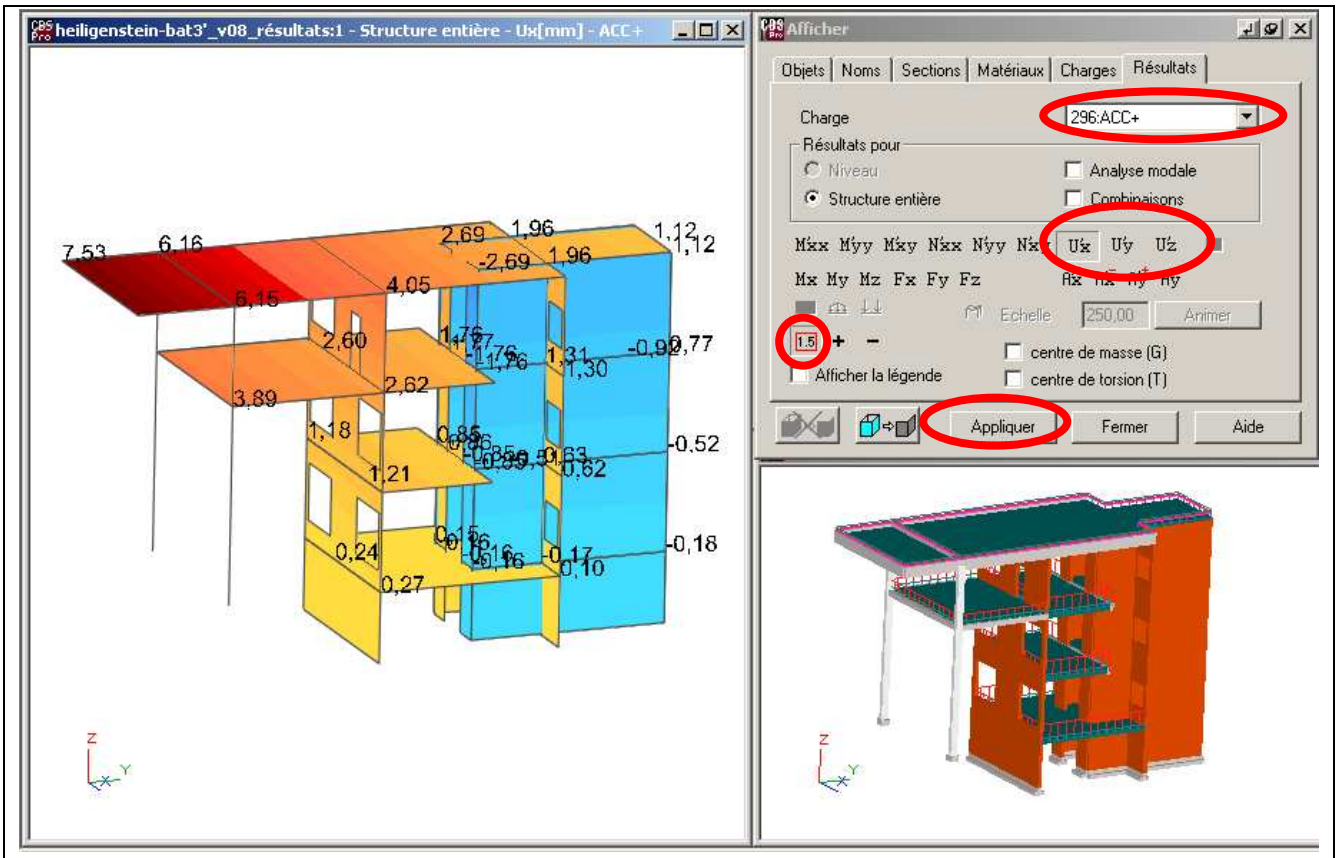


Fig. 4.3 Déformations

La visualisation des déformations se fait à partir de l'affichage des résultats en vue générale.

- Sélectionner le cas de charge souhaité par le menu déroulant *Charge*
- Sélectionner un sens de déformation U'_x, U'_y ou U'_z
- Cliquer sur le bouton 1.5
- Cliquer sur *Appliquer*

Le logiciel affiche alors les valeurs des déplacements dans la direction considérée en différents points.

5 Vérification sismique

Ce chapitre traite plus particulièrement de l'exploitation des résultats de CBS Pro en vue de la vérification au séisme des éléments en béton armé constituant une structure.

5.1 Semelle isolée

La vérification d'une semelle isolée se fait par « exportation » des résultats du logiciel CBS Pro vers le logiciel ROBOT Millenium.

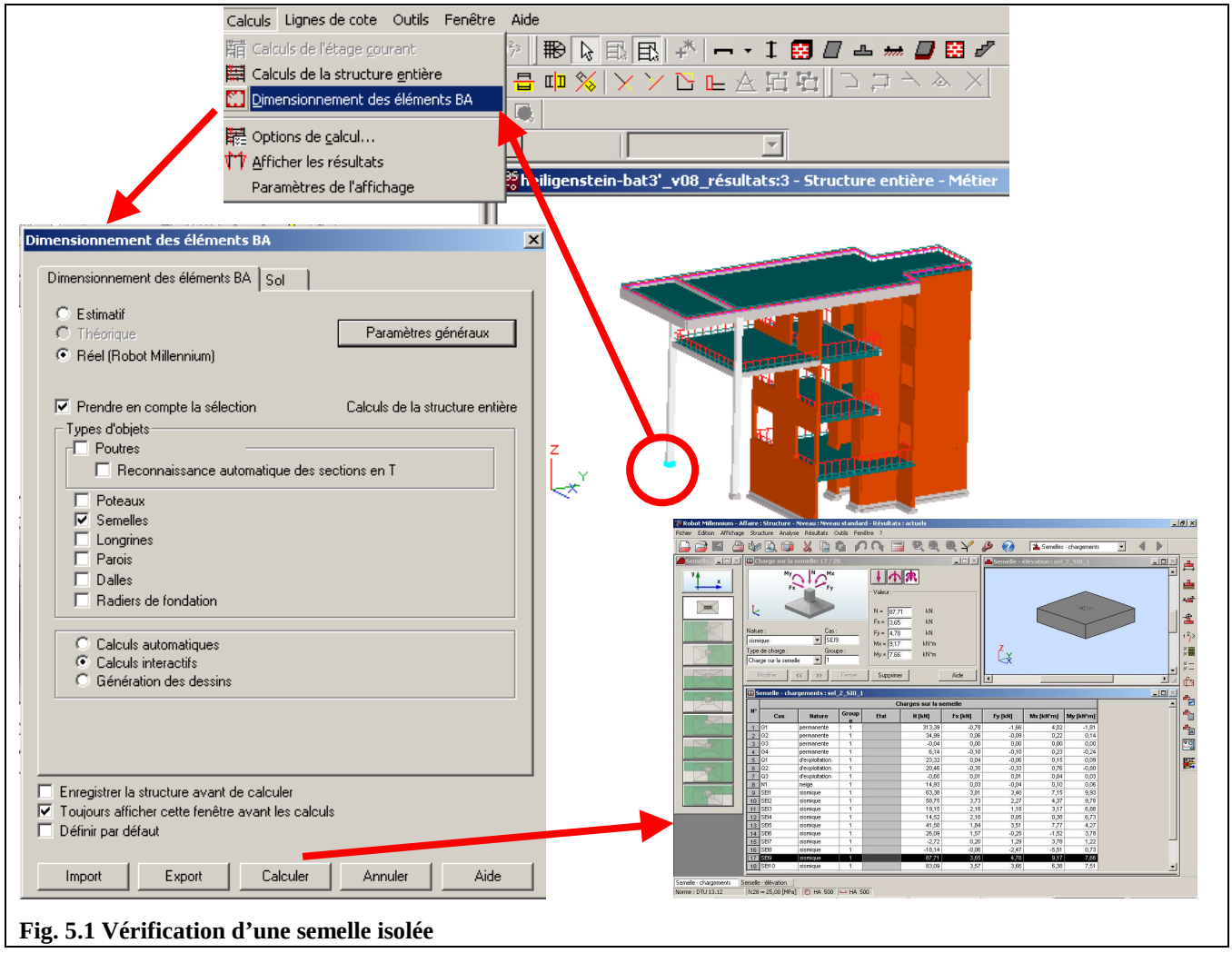


Fig. 5.1 Vérification d'une semelle isolée

- Sélectionner la semelle isolée à dimensionner
- Accéder à la fenêtre *Dimensionnement des éléments BA* par le menu *Calculs/Dimensionnement des éléments BA*
- Cocher *Réel (Robot Millenium)*
- Cocher *Prendre en compte la sélection*
- Cocher *Semelles*
- Cliquer sur *Calculer*

CBS Pro exporte alors la semelle vers le module *Ferraillage d'une semelle* de ROBOT Millenium. ROBOT Millenium permettant la saisie d'informations plus précises, il reste à affiner certains paramètres tels que type et forme de semelle, options de calculs, dispositions de ferraillage,…

5.2 Semelle filante sous mur continu

La vérification d'une semelle filante sous mur continu se fait par calcul manuel à partir des résultats du logiciel CBS Pro.

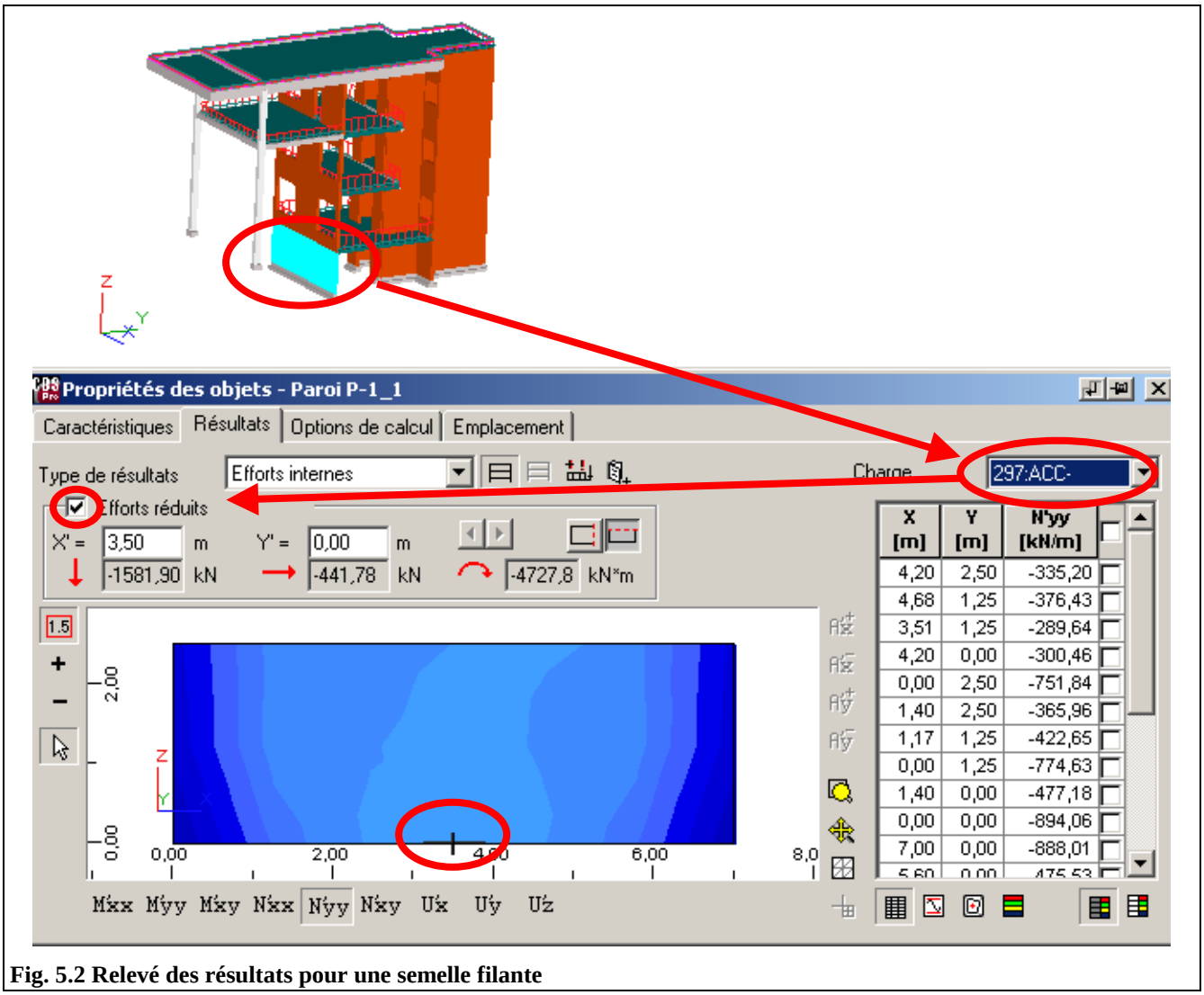


Fig. 5.2 Relevé des résultats pour une semelle filante

- Afficher les résultats en vue détaillée de l'élément voile situé au dessus de la semelle à dimensionner
- Sélectionner le cas de charge souhaité par le menu déroulant *Charge*
  L'attention est portée sur le fait qu'il faut ici sélectionner l'une des combinaisons spécifiques au dimensionnement des fondations comme indiqué en 3.3.2
- Cocher l'affichage des *Efforts réduits*. Le point de référence par rapport auquel les efforts sont exprimés doit être au milieu, en pied de voile (au contact de la semelle et du voile)
- Relever la valeur absolue de l'effort réduit vertical (flèche verticale rouge ↓), notée par la suite N en kN, effort normal de compression
- Relever la valeur absolue de l'effort réduit horizontal (flèche horizontale rouge →), notée par la suite V en kN, effort tranchant
- Relever la valeur absolue du moment réduit (flèche arrondie rouge ↷), notée par la suite M en $kN.m$, moment de flexion

Ainsi, à partir de l'effort normal N , de l'effort tranchant V et du moment M agissant sur la semelle, on détermine les efforts au niveau du sol ; en supposant une semelle filante de longueur l, de largeur b et de hauteur h, on a :

$$N' = N + l \times b \times h \times \rho_{béton}$$
$$V' = V$$
$$M' = M + V \times h$$

On utilise ensuite la feuille de calcul Excel disponible sur le réseau de SBE Ingénierie (\Commun\GO\calcul semelle filante.xls) sur laquelle les cases en gris correspondent aux valeurs à fournir par l'utilisateur.

NOTE DE CALCULS

Affaire : page N°

N°

Vérification d'une semelle filante sous mur continu

Données

Localisation			
Acier	fe		MPa
	γs		
Béton	fc28=		MPa
	γb		
Sol	Contrainte admissible σ adm		kN/m²
Dimension du mur :	Largeur a		m
Dimension de la semelle :			
	Longueur l		m
	Largeur b		m
	Hauteur h		m
Combinaison :			
Relevé des valeur du logiciel CBS Pro :			
	Effort vertical N		kN
	Effort horizontal V		kN
	Moment M		kN.m

Résultats

Valeur au niveau du sol :			
	N'=N+l*b*h*pbéton	0,00	kN
	V'=V	0,00	kN
	M'=M+V*h	0,00	kN.m
Excentricité :	e=M'/N'	#DIV/0!	m
	e<l/6	#DIV/0!	
Répartition des contraintes :		#DIV/0!	
Contrainte maximale :	σ max	#DIV/0!	kN/m²
	σ min	#DIV/0!	kN/m²
Vérification :	σ max<σ adm	#DIV/0!	
Vérification de non poinçonnement de la semelle			
	Nr	#DIV/0!	MN/m
	Nr/0,09fc28	#DIV/0!	m
	h>Nr/0,09fc28	#DIV/0!	
	d0=(b-a)/2	0	m
	h≥2d0	VRAI	
	=> Semelle non armée		
	h≥(b-a)/4	VRAI	
	=> Pas de vérification à l'effort tranchant		

$$A_s = \frac{\sigma_{sm} \times b}{8} \times \frac{b-a}{h} \times \frac{f_e}{\gamma_s} \quad = \text{ \#DIV/0! cm²/m}$$

Fig. 5.3 Feuille de calcul de vérification d'une semelle filante

5.3 Voile

On note que le repère (X,Y,Z) affiché sur la fenêtre de résultats est le repère global de la structure, tandis que les indices des différentes sollicitations sont ceux d'un repère local (x,y,z) dont l'axe y est toujours descendant. On s'intéresse donc tout particulièrement à l'effort normal dans le plan du voile N'_{yy} qui est négatif en compression.

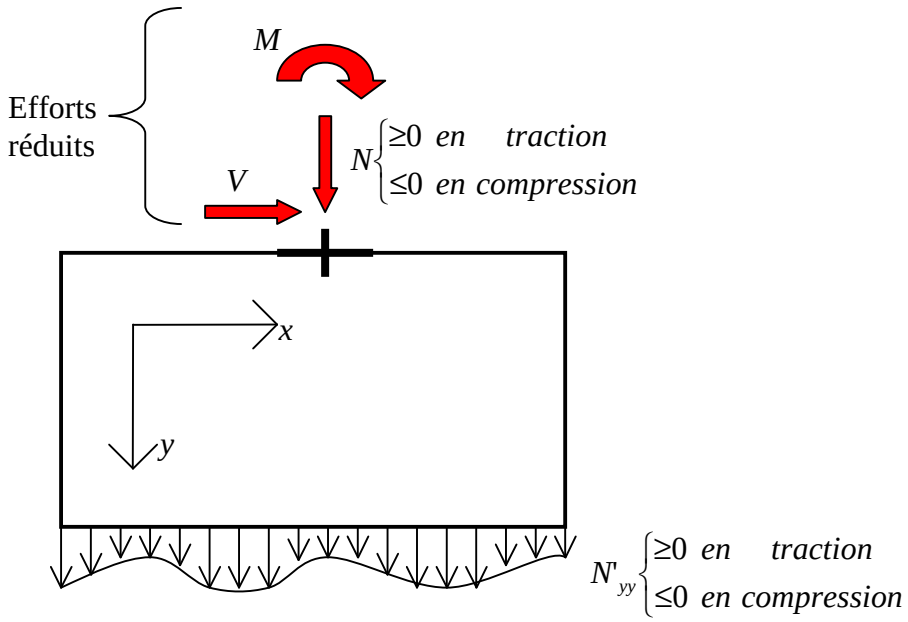


Fig. 5.4 Notation des résultats d'un voile

La vérification d'un voile se fait par calcul manuel à partir des résultats du logiciel CBS Pro.

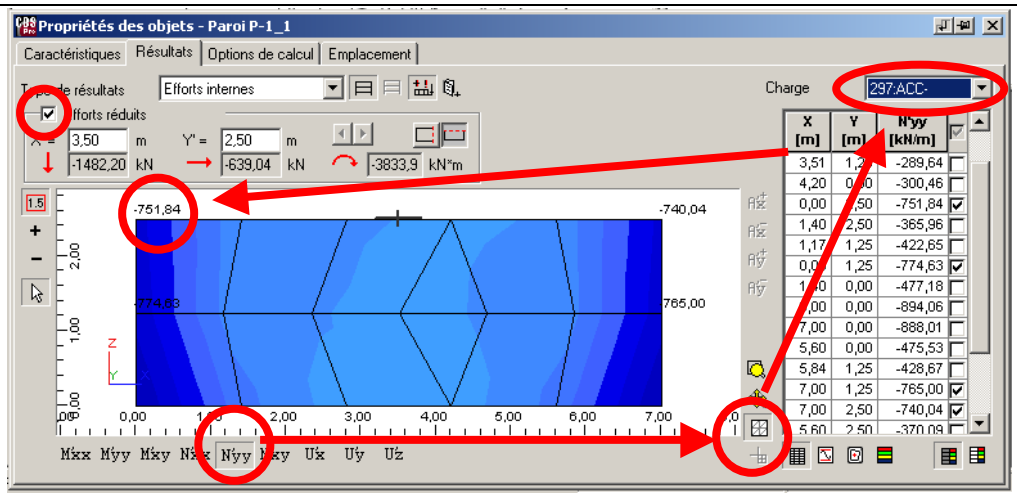


Fig. 5.5 Vérification d'un voile

- Afficher les résultats en vue détaillée du voile à dimensionner
- Cocher N'_{yy}
- Cocher l'option d'affichage du maillage
- Sélectionner le cas de charge souhaité par le menu déroulant *Charge*
- Cocher un nœud du maillage dans la zone à vérifier
- Cocher l'affichage des *Efforts réduits*. Le point de référence par rapport auquel les efforts sont exprimés doit être au milieu, en tête de voile
- Relever la valeur maximale (en valeur absolue) de l'effort normal de compression (dans le plan du voile) N'_{yy} en kN/m, et la diviser par l'épaisseur a (en mètre) du voile. On obtient alors la contrainte normale ultime $\sigma_u = \frac{N'_{yy}}{a}$ (en kN/m^2) agissant sur une bande de mur d'épaisseur a, de longueur 1 m
- Relever la valeur absolue de l'effort réduit vertical (flèche verticale rouge ↓), notée par la suite N en kN, effort normal de compression
- Relever la valeur absolue de l'effort réduit horizontal (flèche horizontale rouge →), notée par la suite V en kN, effort tranchant
- Relever la valeur absolue du moment réduit (flèche arrondie rouge ↷), notée par la suite M en $kN.m$, moment de flexion

On applique alors la procédure de calcul des paragraphes III.6.3 et III.6.4 du *Formulaire de Béton Armé 2* [2] de Victor DAVIDOVICI, basés sur le DTU 23.1 et les Règles PS 92/11.8.2.
Il s'agit d'une justification sous sollicitations normales utilisant la contrainte normale ultime σ_u et d'une justification sous sollicitations tangentes utilisant les efforts réduits en tête de voile N, V et M.

5.4 Poteau

La vérification d'un poteau se fait par « exportation » des résultats du logiciel CBS Pro vers le logiciel ROBOT Millenium.

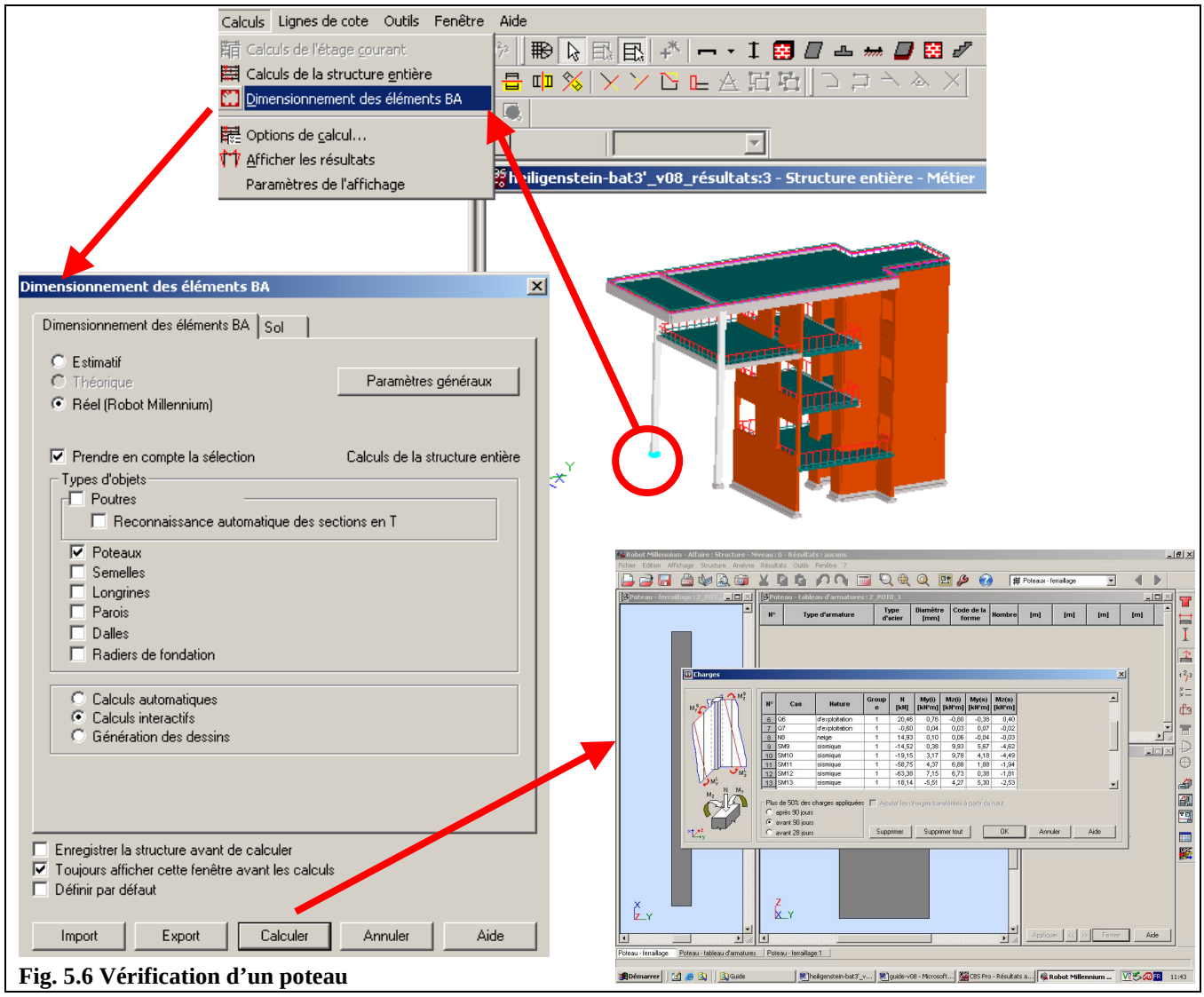


Fig. 5.6 Vérification d'un poteau

- Sélectionner le poteau à dimensionner
- Accéder à la fenêtre *Dimensionnement des éléments BA* par le menu *Calculs/Dimensionnement des éléments BA*
- Cocher *Réel (Robot Millenium)*
- Cocher *Prendre en compte la sélection*
- Cocher *Poteaux*
- Cliquer sur *Calculer*

CBS Pro exporte alors l'élément vers le module *Ferraillage d'un poteau* de ROBOT Millenium. ROBOT Millenium permettant la saisie d'informations plus précises, il reste à affiner certains paramètres tels que modèle de flambement, élévation, options de calculs, dispositions de ferraillage,…

5.5 Poutre

Lorsque la structure est calculée par la Méthode des Eléments Finis, comme c'est le cas pour le calcul sismique par analyse modale, il n'est pas possible dans la version actuelle (version 19) d'exploiter les résultats du logiciel CBS Pro pour une poutre.

5.6 Dalle

De même que pour les poutres, lorsque la structure est calculée par la Méthode des Eléments Finis, comme c'est le cas pour le calcul sismique par analyse modale, il n'est pas possible dans la version actuelle d'exploiter les résultats du logiciel CBS Pro pour une dalle.

Cependant, lors d'un séisme, la dalle est à classer comme élément principal compte-tenu de son rôle de « poutre au vent ». En effet, elle assure la distribution des forces horizontales dans son plan entre les éléments participant au contreventement. On s'intéresse donc, dans le cadre de la vérification sismique, aux sollicitations dans le plan de la dalle.

Le principe du calcul est d'assimiler l'élément dalle à une poutre infiniment rigide et indéformable dans son plan et de considérer un chargement horizontal équivalent aux effets du séisme.

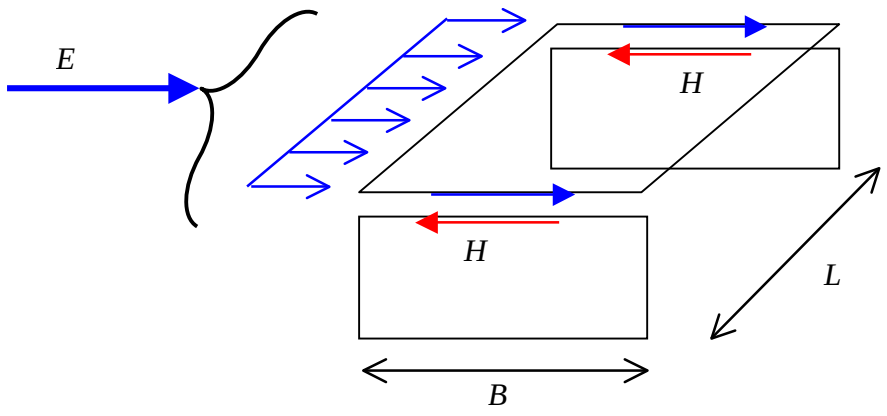


Fig. 5.7 Principe de vérification d'une dalle

Remarques :
Dans le cas de prédalles, les armatures sur joint devront être suffisantes pour permettre de supposer le comportement monolithique de la dalle.
Par ailleurs, les dalles comportant de grandes trémies devront faire l'objet de vérifications particulières.

Le logiciel n'indiquant pas le chargement horizontal équivalent aux effets du séisme, on le détermine par calcul manuel à partir des réactions horizontales en tête des voiles de contreventement indiquées par le logiciel CBS Pro.

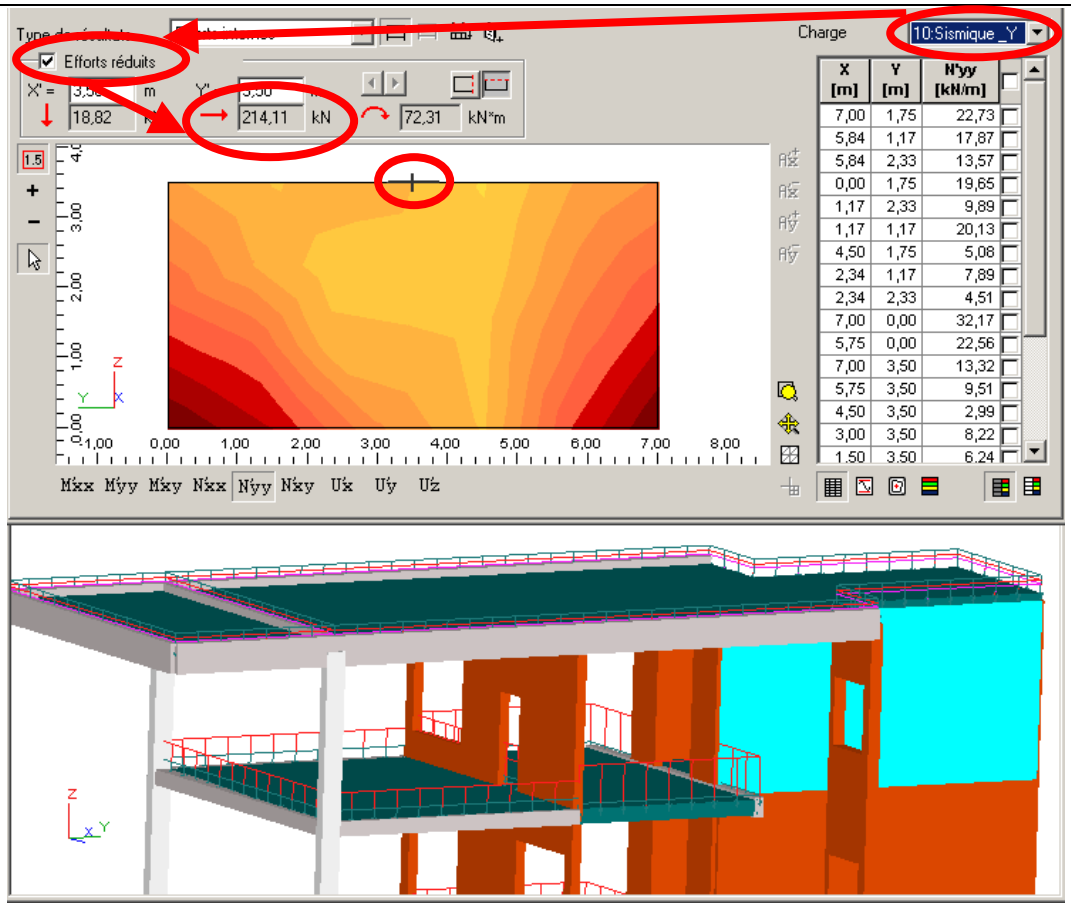


Fig. 5.8 Vérification d'une dalle

On considère un sens de séisme, on relève la force horizontale en tête d'un des voiles de contreventement parallèle au sens du séisme :

- Afficher les résultats en vue détaillée du voile à étudier
- Sélectionner le cas de charge souhaité dans le menu déroulant *Charge*
- Cocher l'affichage des *Efforts réduits*. Le point de référence par rapport auquel les efforts sont exprimés doit être au milieu, en tête de voile
- Relever la valeur absolue de l'effort réduit horizontal (flèche horizontale rouge →), notée par la suite H_i en kN, réaction horizontale du voile i
- Soustraire la valeur de l'effort réduit horizontal de l'étude supérieur s'il s'agit d'un étage intermédiaire

On procède de même pour les autres voiles de contreventement parallèles au sens de séisme considéré. La modélisation de la dalle en poutre se fait ensuite selon les méthodes du paragraphe III.4. du *Formulaire de Béton Armé 2* de Victor DAVIDOVICI.

Bibliographie

[1] V. DAVIDOVICI, Formulaire de béton armé, volume 2, Editions Le Moniteur, 1997

[2] Norme NF P 06-013, Règles de construction parasismique, Règles PS applicables aux bâtiments – PS92, Eyrolles, 1996

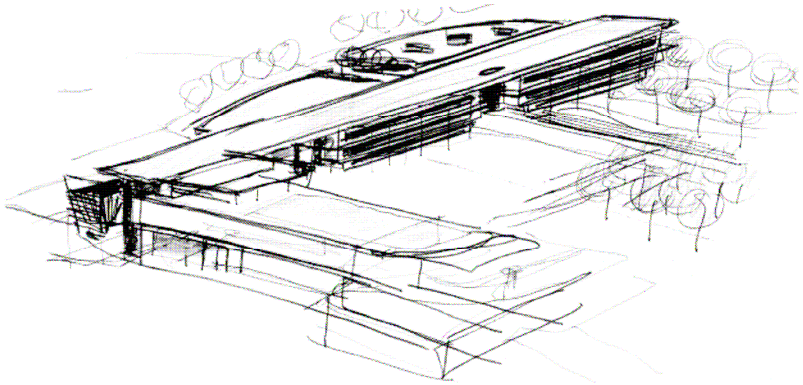
Institut National des Sciences Appliquées
24, boulevard de la Victoire
67084 Strasbourg

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Annexes

Projet de Fin d'Etudes

Collège du Piémont HEILIGENSTEIN-BARR



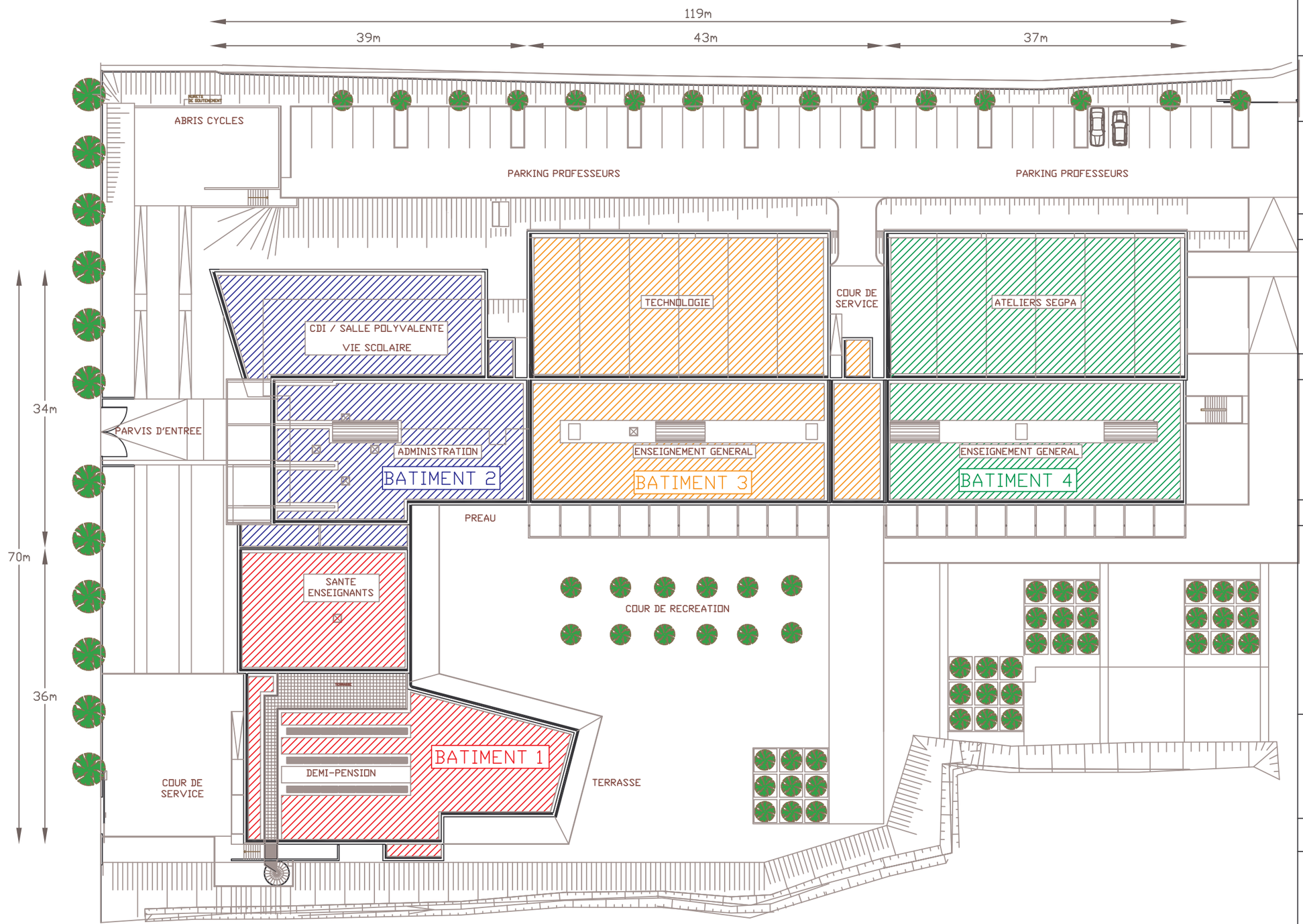
Octobre 2007

Sommaire des annexes

Plans architectes du Collège du Piémont	Annexe 1
Hypothèses de modélisation du Bâtiment 3	Annexe 2
Etude des critères de régularité du Bâtiment 3	Annexe 3
Résultats de l'analyse modale	Annexe 4
Exploitation des résultats	Annexe 5
Plan de principe du Bâtiment 3	Annexe 6

Annexe 1

Plans architectes du Collège du Piémont



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

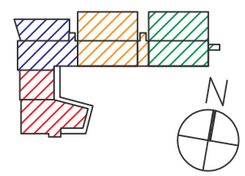
MAITRE D'OEUVRE

J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

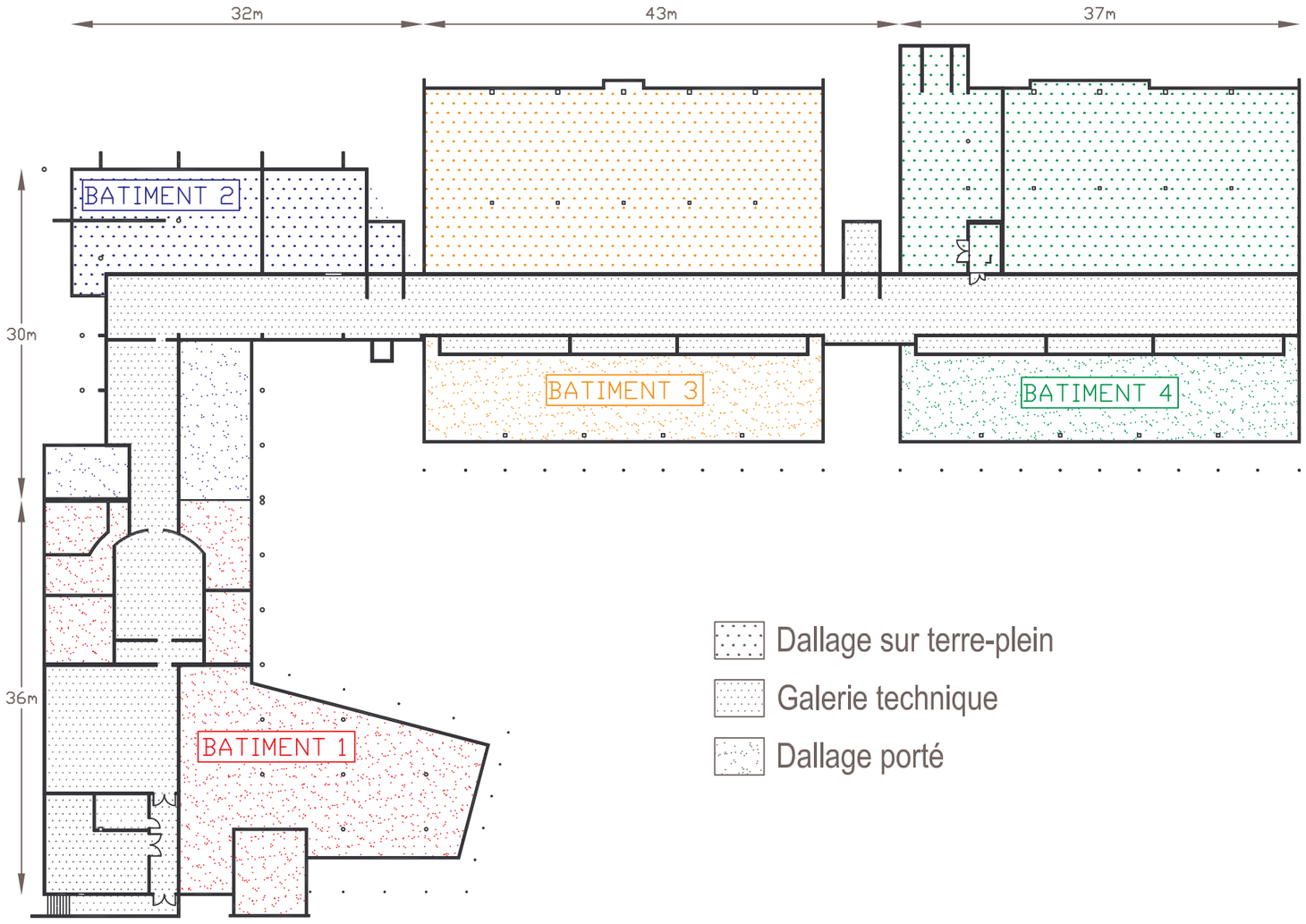
BUREAU D'ETUDES

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Plan masse



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/500°



Dallage sur terre-plein

Galerie technique

Dallage porté

Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

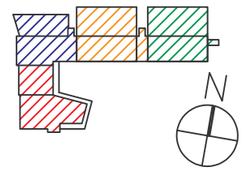
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

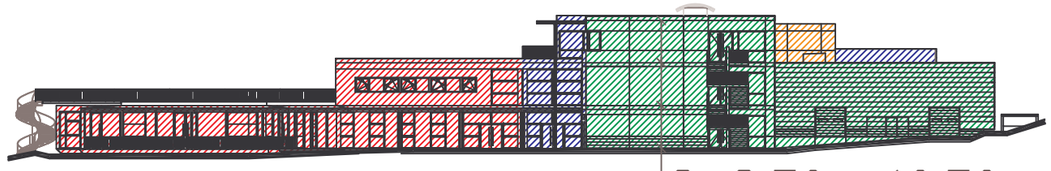
Plan du Sous-Sol

Vide Sanitaire

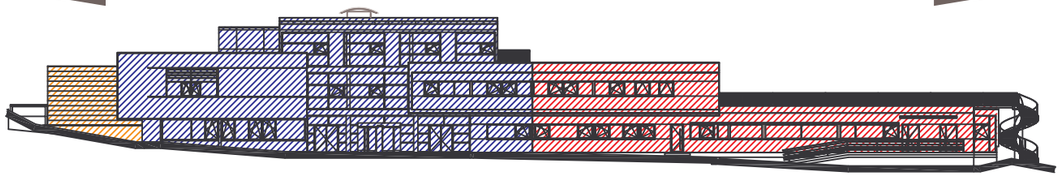


N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/500°

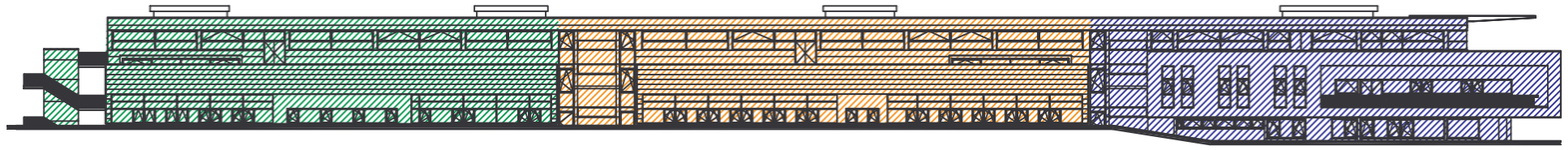
Façade Est

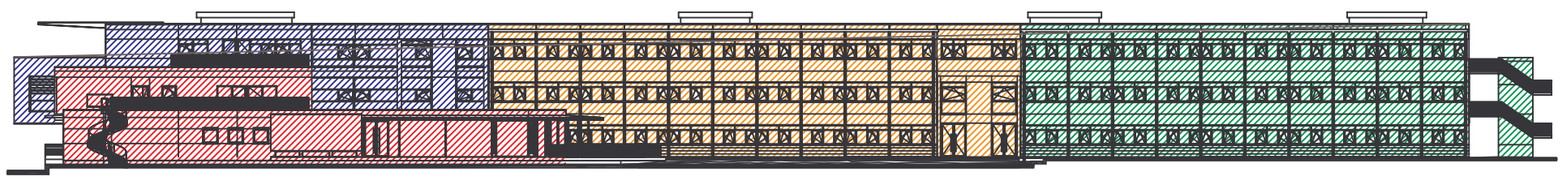


Façade Ouest



Façade Nord





Façade Sud

Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

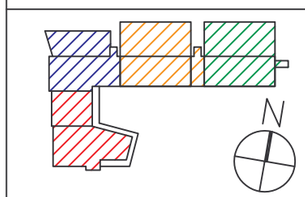
MAITRE D'OEUVRE

J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

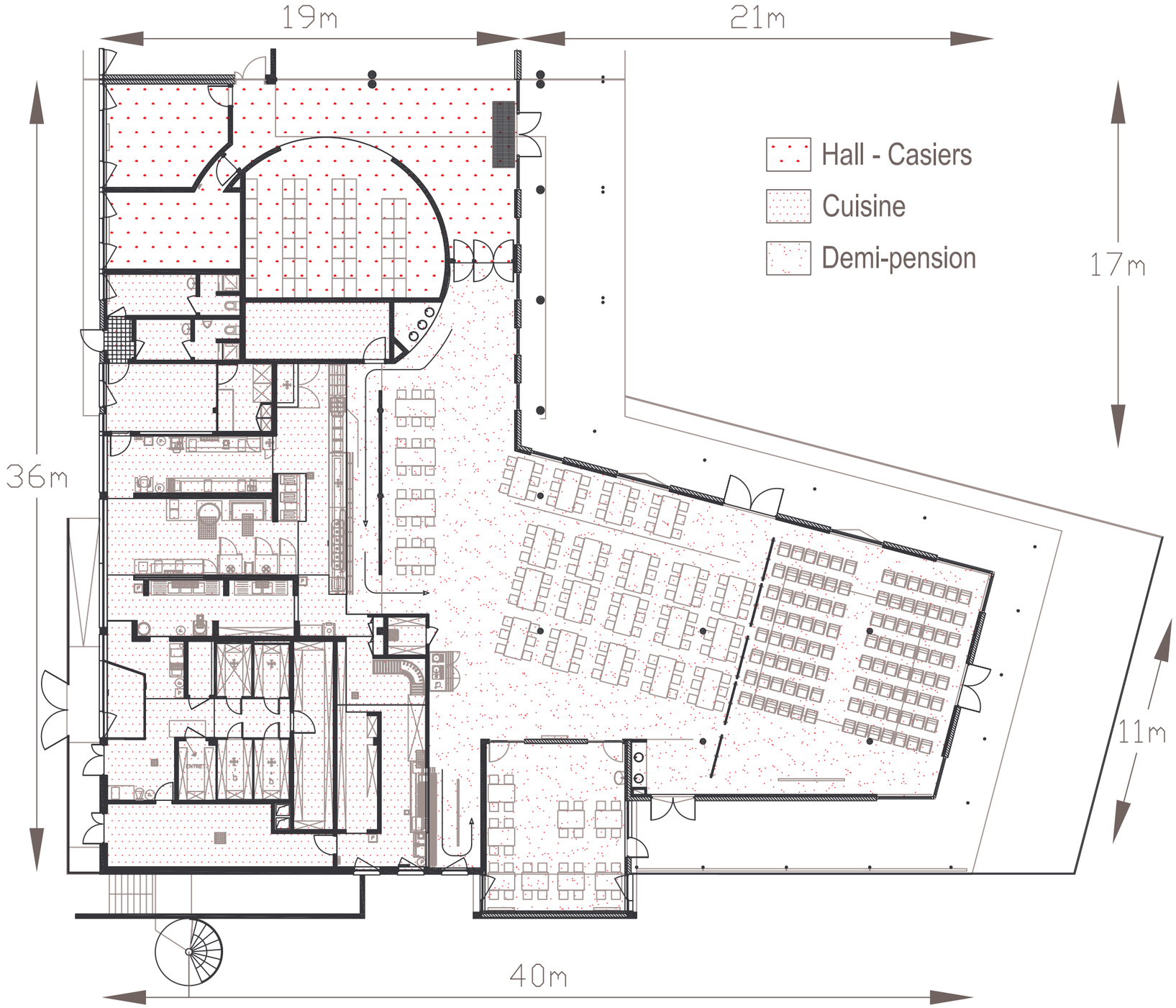
BUREAU D'ETUDES

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Plan des façades
Est, Ouest, Nord et Sud



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/500°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

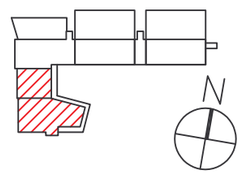
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

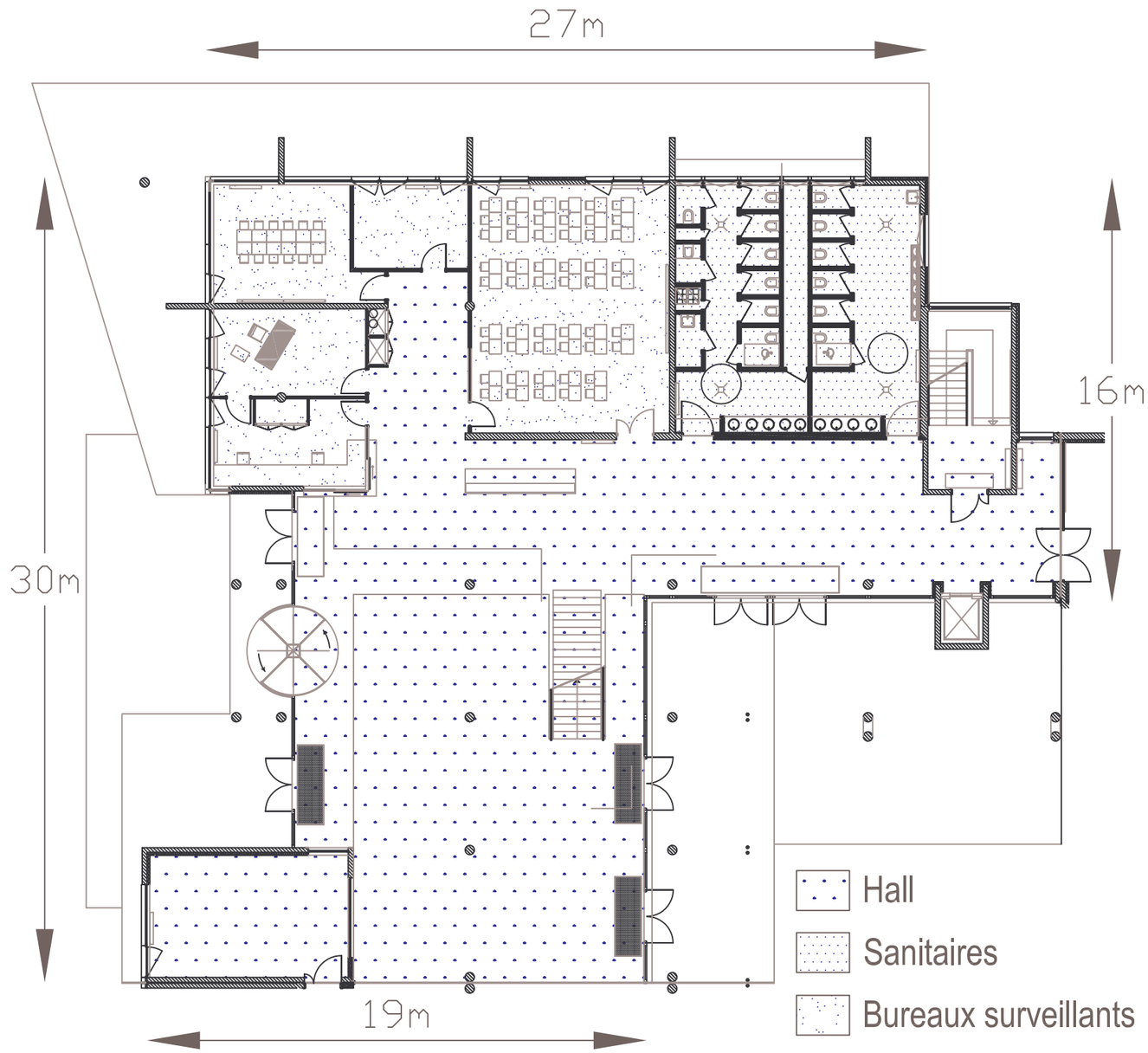
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 1

Rez-de-Chaussée



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

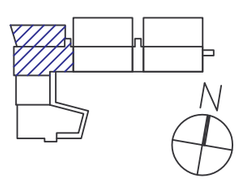
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

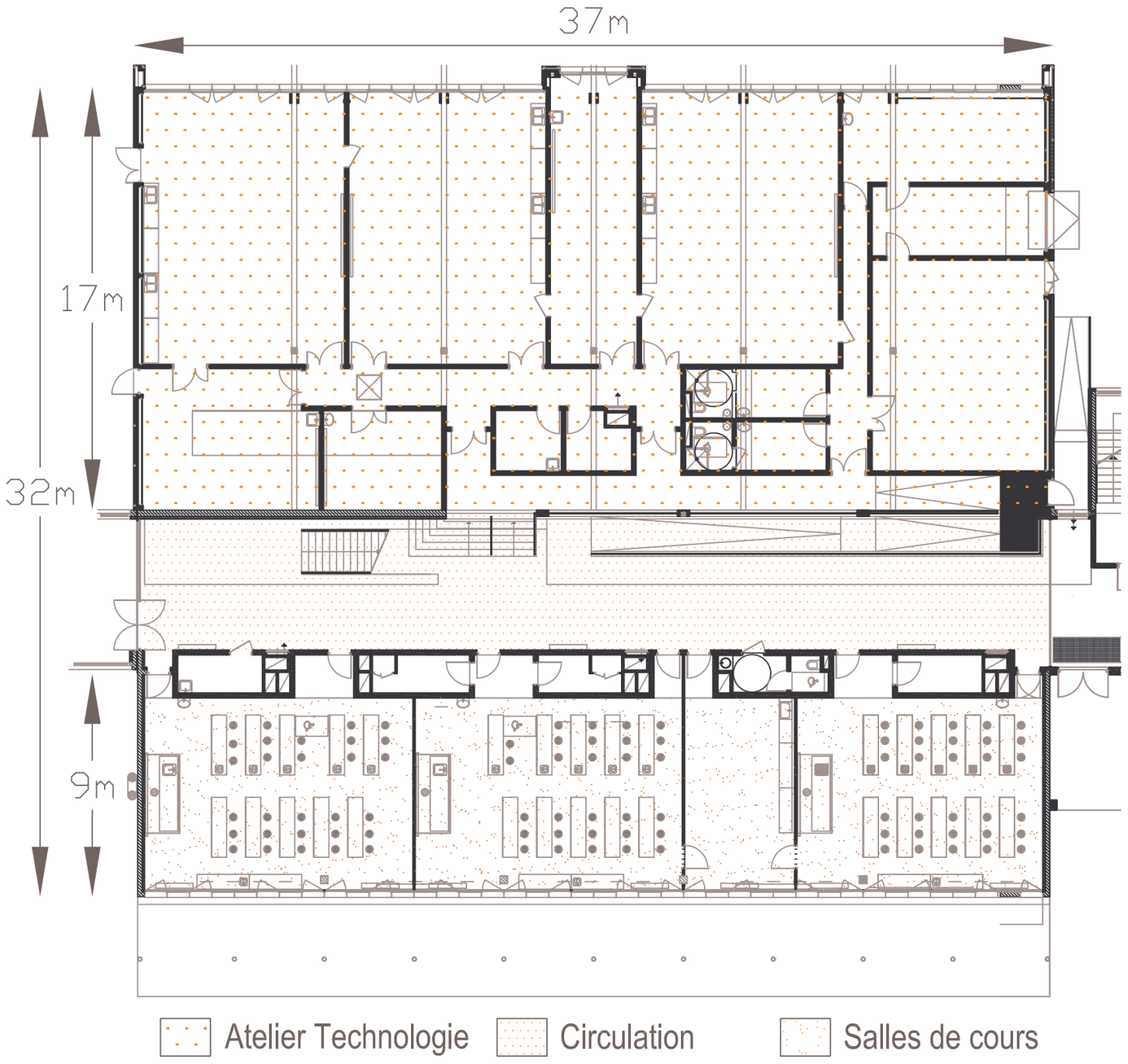
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 2

Rez-de-Chaussée



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

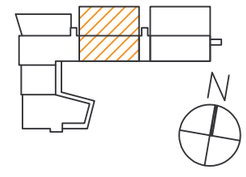
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

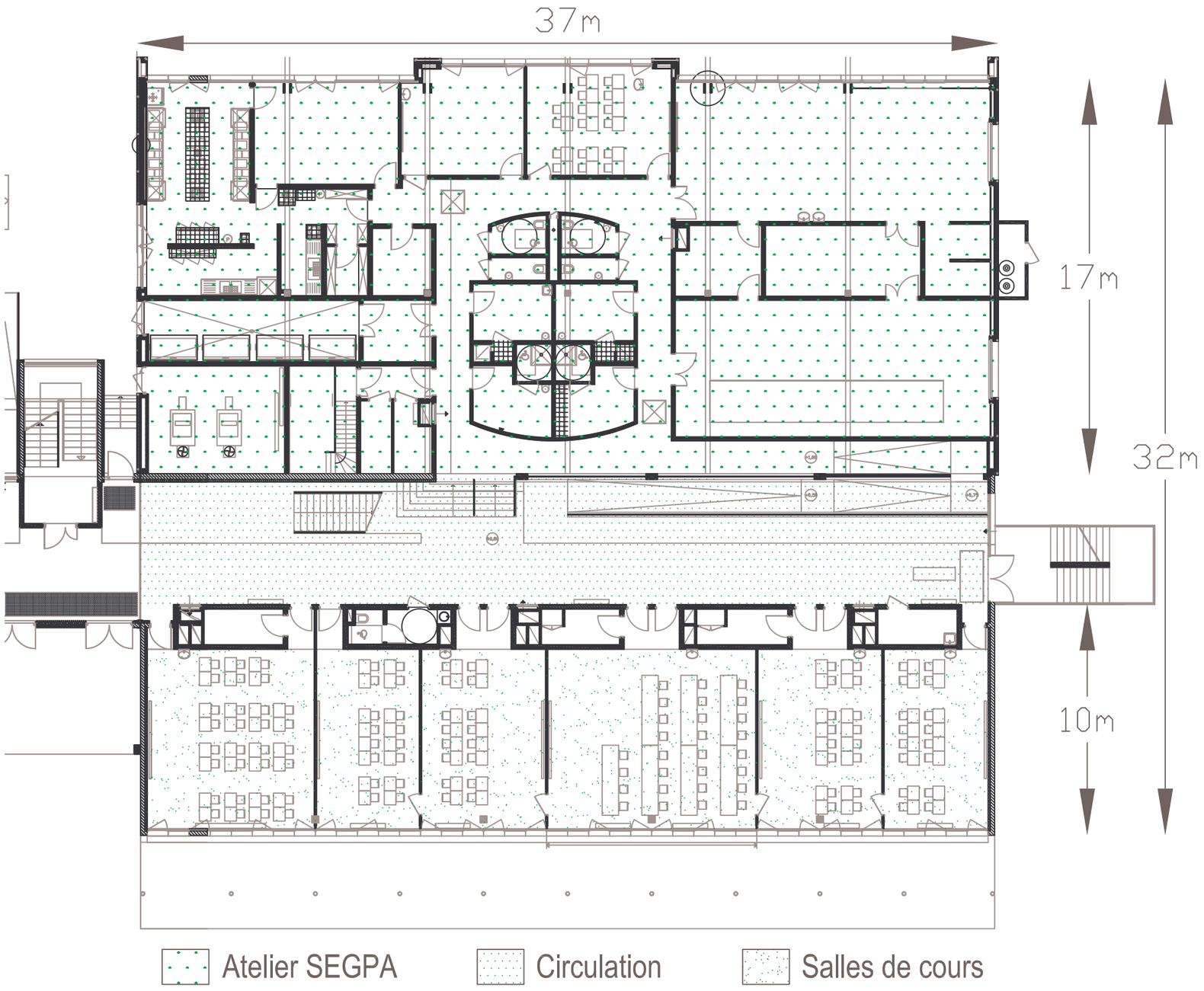
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 3

Rez-de-Chaussée



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

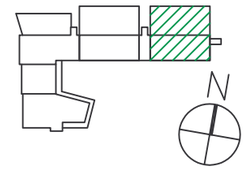
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

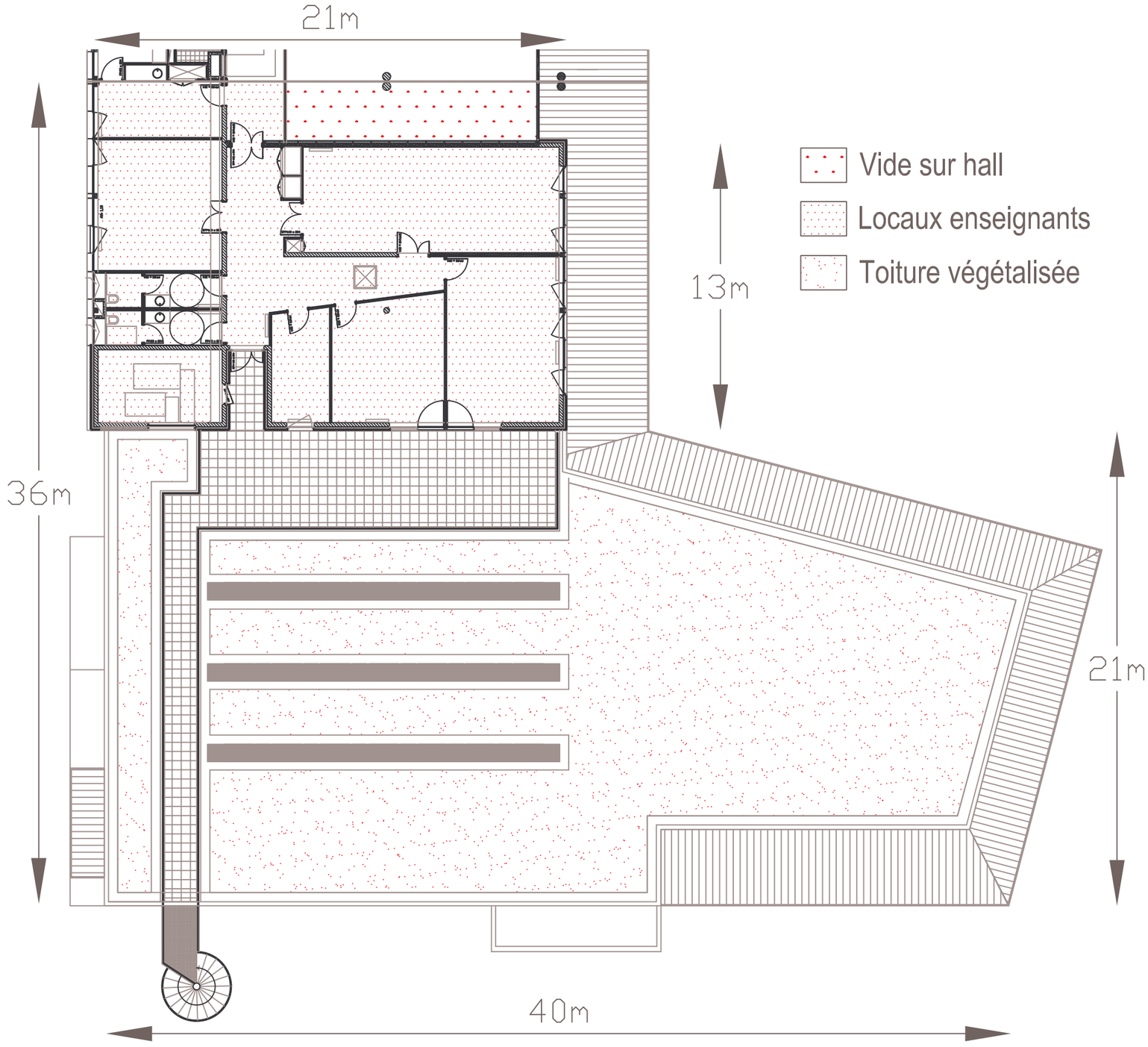
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 4

Rez-de-Chaussée



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

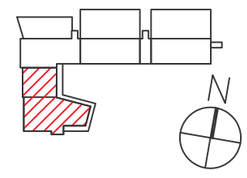
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 1

R+1



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°

Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

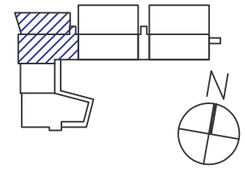
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

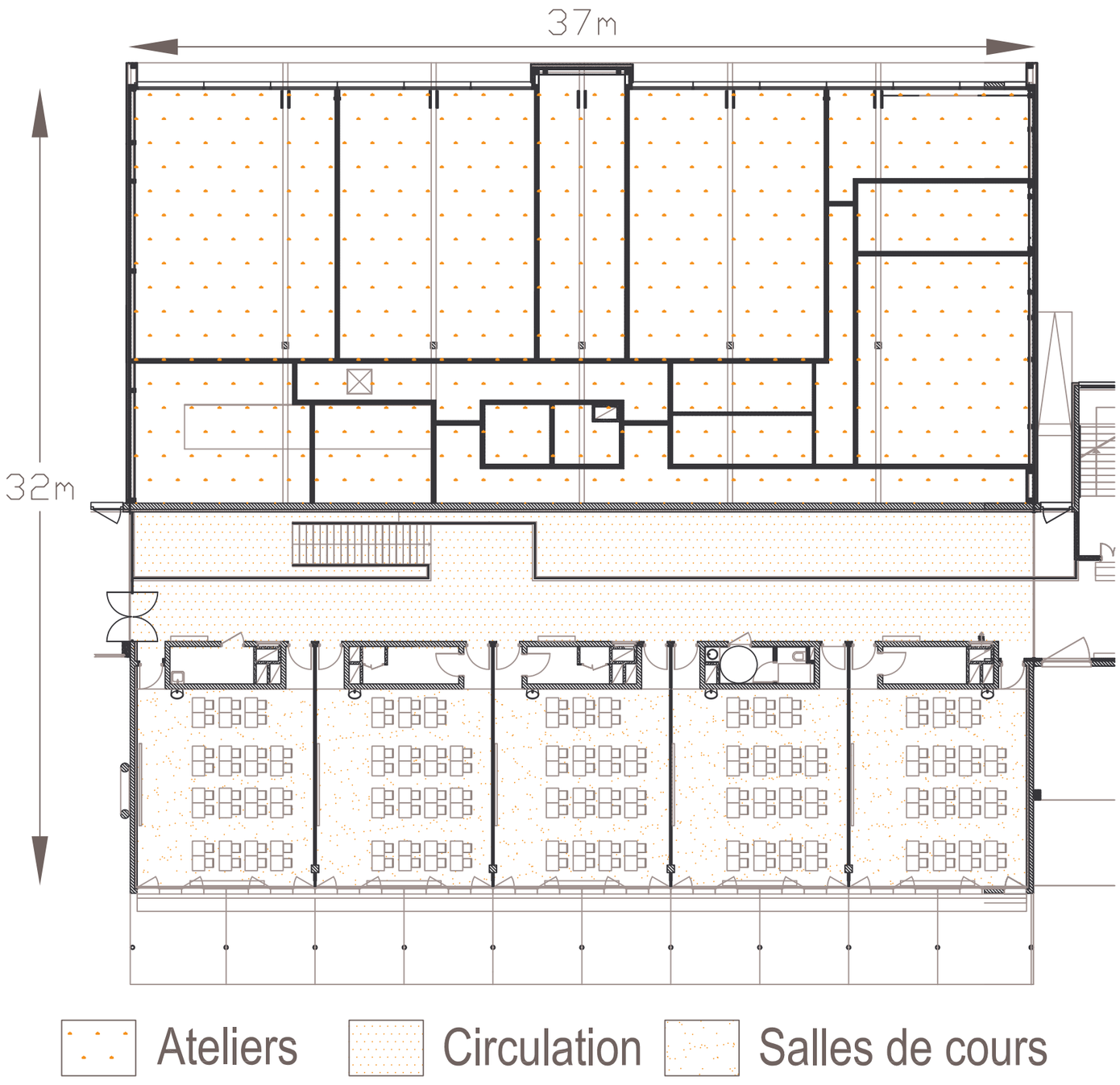
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 2

R+1



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

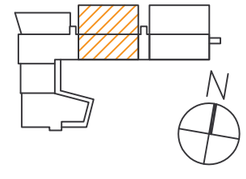
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

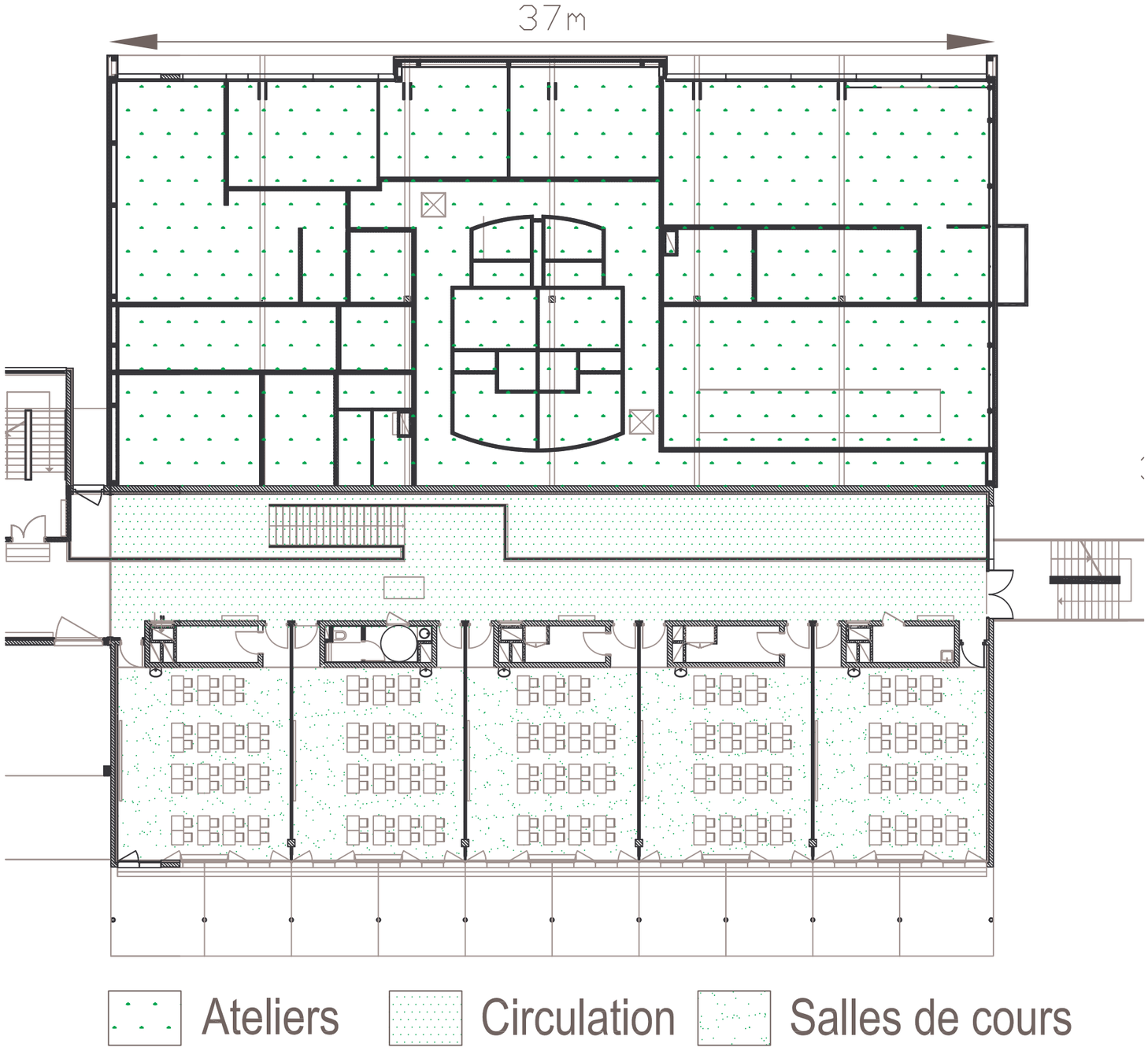
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 3

R+1



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

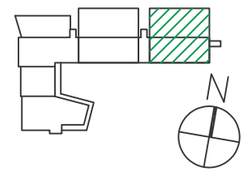
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

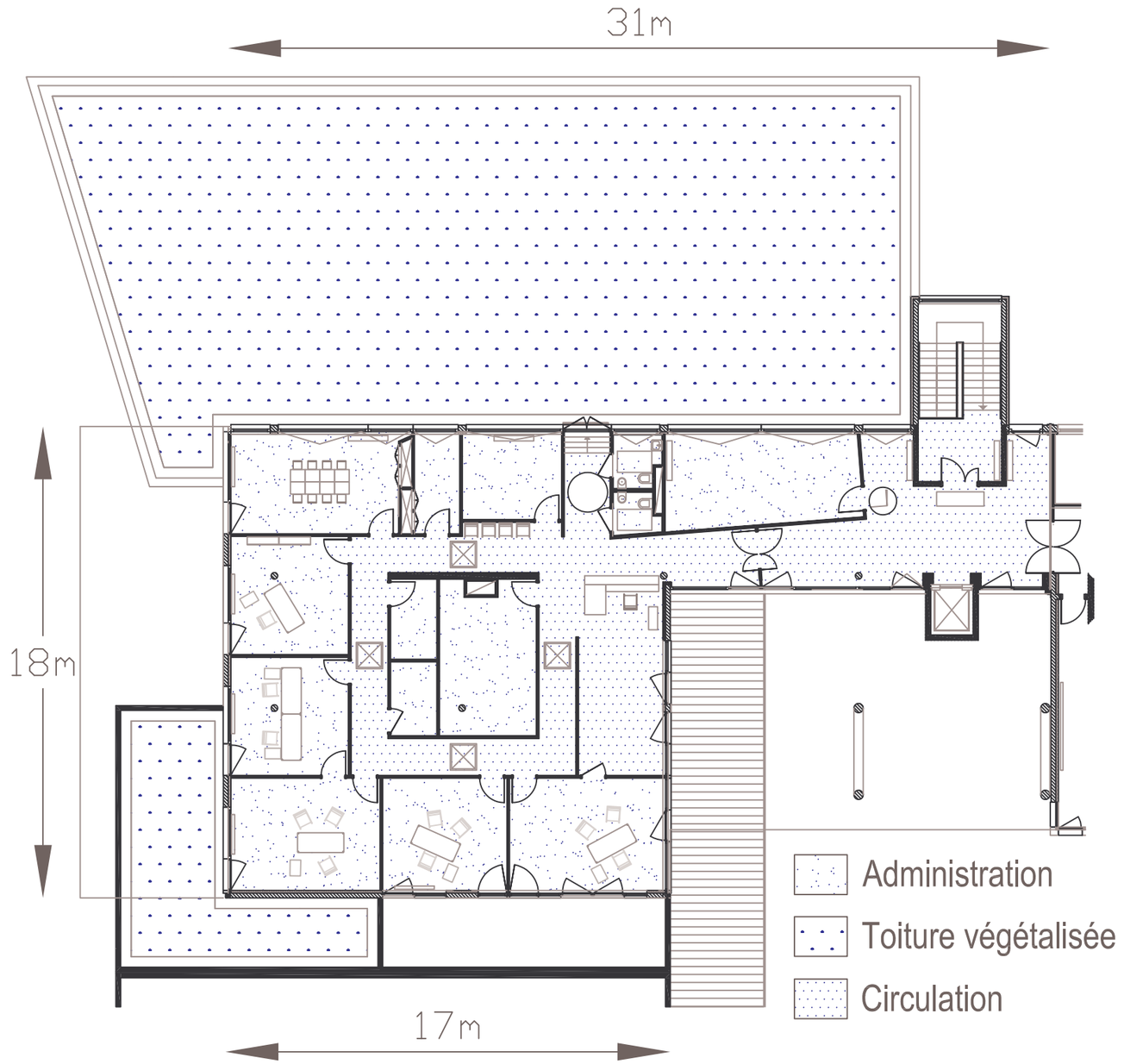
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 4

R+1



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

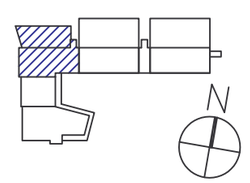
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

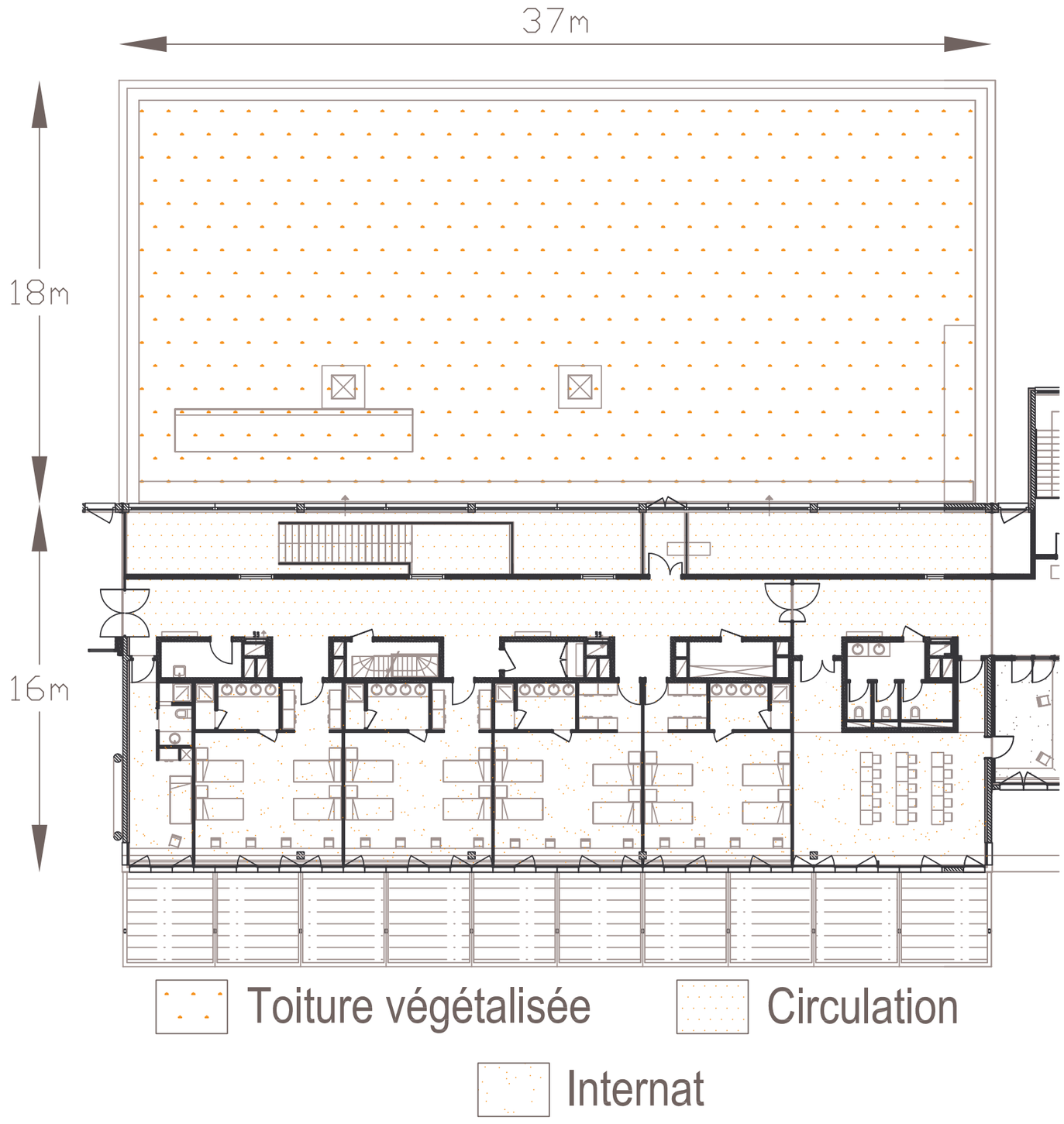
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 2

R+2



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

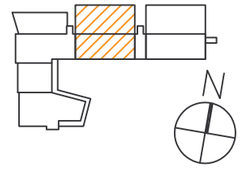
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

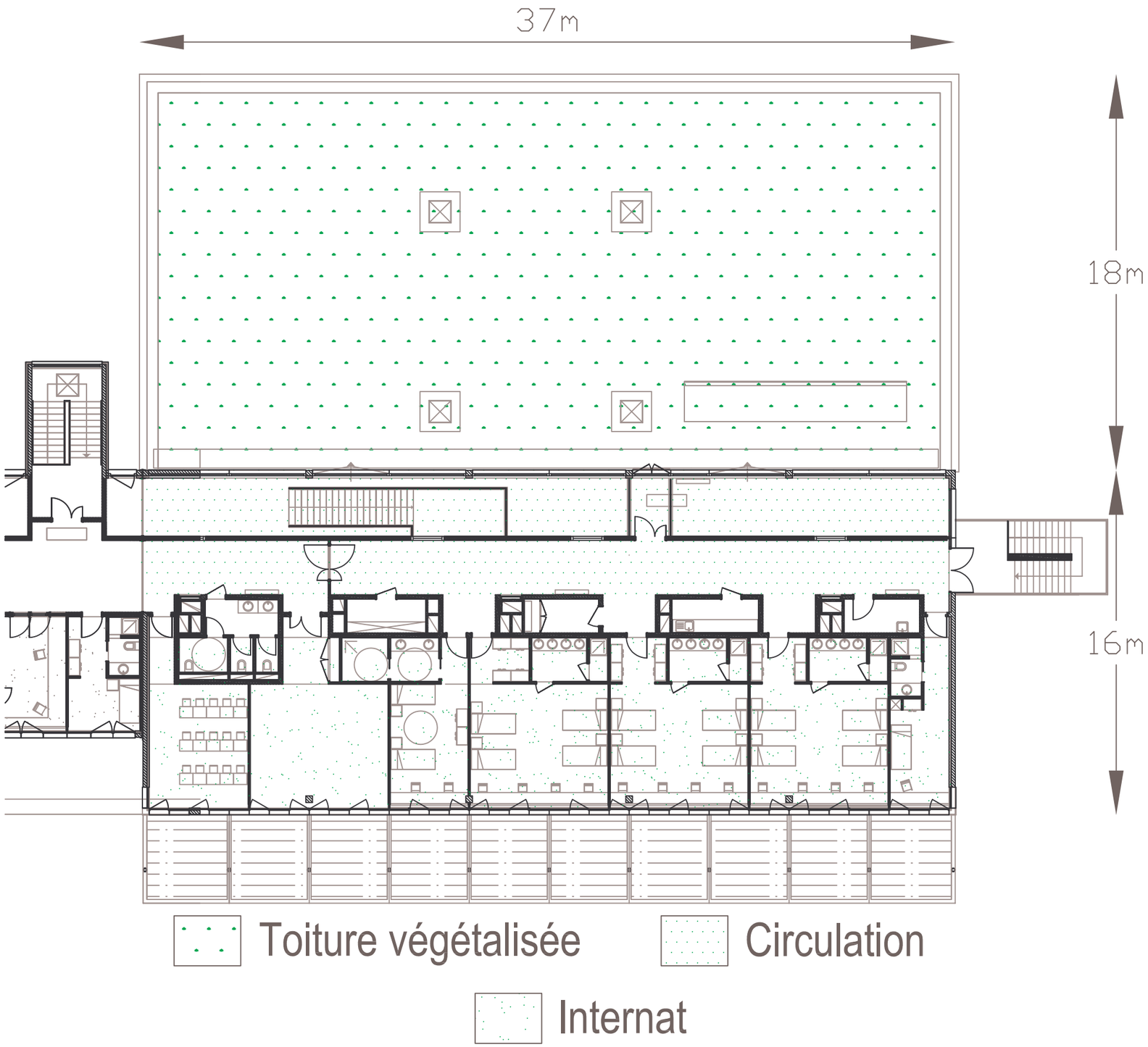
SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 3

R+2



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°



Projet de Fin d'Etudes
Septembre 2007

Damien JEHL
GC5

COLLEGE DU PIEMONT
HEILIGENSTEIN - BARR

Construction
d'un collège 400
et d'une SEGPA 64

MAITRE D'OUVRAGE

Direction
De l'Aménagement
Et Des Equipements
Département du Bas-Rhin

MAITRE D'OEUVRE

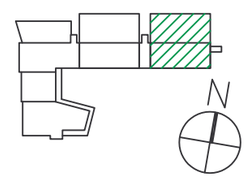
J.P. GILCH F. KALK
L. GILCH
Société d'Architecture

BUREAU D'ETUDES

SBE Ingénierie
8, rue des Prés
67540 OSTWALD

Bâtiment 4

R+2



N°Affaire :	671264
Phase :	PRO
Echelle :	1/200°

Annexe 2

Hypothèses de modélisation du Bâtiment 3

SOL :

Extraits du rapport d'étude géotechnique :

fondasol
INGENIERIE GEOTECHNIQUE

CONSEIL GENERAL DU BAS-RHIN

Collège du Piémont
Chemin du Thorenberg

HEILIGENSTEIN - BARR

Etude géotechnique
RAPPORT D'ETUDE
MS 05 0668

FTQ 232-B

BR AFFAIRE N°		CENTRE [M S]		ANNEE [0 5]	N° D'ORDRE [0668]			PIECE N° [0 0 1]
E								
D								
C								
B								
A	28/11/2005	I. DEBAENST		J. BRUDER			32	PREMIERE DIFFUSION
INDICE	DATE	NOM	VISA	NOM	VISA		NB DE PAGES	MODIFICATIONS - OBSERVATIONS
		ETABLI PAR		VERIFIE PAR				

1 - PRESENTATION DE LA MISSION FONDASOL

1.1 - NATURE DE LA COMMANDE

Le Conseil Général du Bas-Rhin nous a confié l'étude géotechnique préalable à la construction d'un collège à HEILIGENSTEIN (BAS-RHIN).

1.2 - TYPE DE MISSION SELON L'UNION SYNDICALE GEOTECHNIQUE

Notre étude, en référence à la "CLASSIFICATION DES MISSIONS GEOTECHNIQUES TYPES", issue de la norme NF P 94-500 et jointe à la fin du présent rapport, s'inscrit dans le cadre d'une **mission G_0 + G_{12} phase 1**.

1.3 - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Conformément à notre devis DE/MS.05.7.071 du 18 juillet 2005, les objectifs de notre étude sont de :

- Caractériser les terrains rencontrés,
- Définir le mode de fondation des ouvrages (type de fondation, niveau d'assise, contraintes de calcul, estimation des tassements),
- Donner les recommandations particulières pour la réalisation des travaux.

1.4 - PROGRAMME D'INVESTIGATIONS

A cet effet, nous avons réalisé aux emplacements qui nous ont été définis et reportés sur le plan joint en annexe :

⇒ **7 SONDAGES PRESSIOMETRIQUES**, notés T1 à T7, descendus entre 4,5 et 7,5 m de profondeur

Nous avons joint à ce rapport, les coupes des sondages S3, S4, R2 et R4, réalisés début août 2000 (cf rapport MS 02 404), dans le cadre de l'étude géotechnique préalable.

Les résultats des investigations, ainsi qu'un plan d'implantation des sondages figurent en annexe à la fin du présent rapport.

1.5 - DOCUMENTS MIS A NOTRE DISPOSITION

Pour remplir cette mission, nous avons disposé des éléments suivants :

- Plan de masse.

2 - CARACTERISTIQUES DES SONDAGES REALISES

2.1 - NIVELLEMENT DE NOS SONDAGES

Le nivellement de nos sondages a été rattaché au plan de masse fourni.

2.3 - COUPE DU TERRAIN

La coupe de terrain a été établie à partir d'échantillons Ø 60 mm prélevés au carottier battu (CB).

On trouvera ci-après les coupes de nos sondages.

2.4 - ESSAIS PRESSIOMETRIQUES

Les essais pressiométriques (norme NFP 94-110 de juillet 1991) ont été réalisés au moyen d'une sonde standard de ∅ 60 dans les sols cohérents.

Rappel des notations :

- pf : pression de fluage (en MPa)
- pl : pression limite (en MPa)
- EM : module de déformation pressiométrique (module déviatorique)

On trouvera, ci-joint, les résultats des essais pressiométriques.

3 - PRESENTATION DU SITE ET DU PROJET

3.1 - LE PROJET

On projette la construction d'un collège. Le bâtiment sera de type R + 2. Le Rez-de-chaussée sera à la cote 193,8 NGF.

Le bâtiment comportera 2 locaux techniques descendus aux cotes 191,7 et 191,4 NGF. La galerie technique passe sensiblement au centre du projet. Le vide sanitaire sera à la cote 191,7.

3.2 - SITUATION ET TOPOGRAPHIE

BARR et HEILIGENSTEIN se situent au pied des collines sous-vosgiennes dans une zone faillée qui borde la plaine d'Alsace.

Le terrain se trouve sur les communes de Barr et de Heiligenstein.

Le site est constitué de vergers et de prés. Il est en pente vers le Sud, entre les cotes 196,1 et 192,15 au droit des sondages. On note la présence à l'Est du terrain d'une zone remblayée sur quelques mètres.

En fond de vallée, un réseau de fossés s'écoule vers la Kirneck.

4 - RESULTATS DES INVESTIGATIONS

4.1 - ANALYSE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Nos sondages ont mis en évidence :

- une **couche de surface** composée de :
  - **limon argileux** brun avec débris de végétaux sur 0,1 à 0,7 m d'épaisseur, en S3, T1, T2 (partie Ouest) et S4, T5,
  - **remblai limono-argileux et sableux** avec **quelques graviers** et débris de briques, sur 0,6 à 2,7 m d'épaisseur, pour les autres sondages. Les épaisseurs de remblai dépassent 1,4 m en partie Sud (T3) et Est (R4) du terrain.

  La compacité est médiocre, puisque la pression limite pressiométrique nette (pl-po) = 0,36 MPa en T3.

- de l' **argile limoneuse** ou **limon argileux**, **sablo-graveleux** par endroit, excepté en T3, T4, R2 et R4, à partir de 0,1 à 0,7 m de profondeur, sous les cotes 196,2 à 191,85 au droit des sondages, jusqu'à 1 à 2,5 m de profondeur

  La compacité est médiocre, puisque (pl-po) varie de 0,23 à 0,49 MPa.

- de l'argile **marneuse graveleuse** ou **marne** grise avec **morceaux de calcaire**, à partir de 0,7 à 2,5 m de profondeur, sous les cotes 195,7 à 189,6 au droit des sondages, jusqu'à leur base arrêtée entre 3 et 7,5 m de profondeur.

  On constate que le toit de la marne plonge vers le Sud.

  La compacité est en général moyenne, puisque (pl-po) est comprise entre 0,67 et 1,12 MPa. Elle est médiocre en tête en T1, T3 et S4 où (pl-po) varie de 0,13 à 0,53 MPa. Elle est bonne à partir de 5 m de profondeur en T2, T6, T7 et S4 avec (pl-po) comprise entre 1,13 et 1,57 MPa.

4.2 - HYDROGEOLOGIE

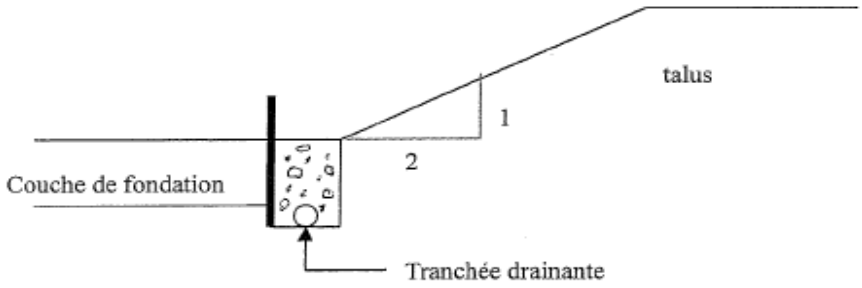
Les sondages réalisés début août 2002 (période sèche) n'ont pas rencontré d'eau.

Lors des sondages réalisés début octobre 2005 (toujours en période sèche), de l'eau a été rencontrée à 0,8 m de profondeur en T3 et à 4,5 m de profondeur en T1. Il s'agit de rétention d'eau dans les remblais ou faciès peu perméables (argile) provenant des eaux de pluies et de neiges dans le servant.

Par ailleurs, des circulations d'eau sont prévisibles, dans ce terrain en pente, à faible profondeur, lors des période pluvieuses ou de fonte des neiges.

En conséquence :

- on protégera toutes les parties enterrées par un drainage
- une tranchée drainante avec un drain descendu sous le niveau de la couche de fondation du dallage collectera les arrivées d'eau en provenance de l'amont entre le pied de talus et la partie Nord du collège.



- il serait souhaitable aussi de collecter l'eau par des drains ou tranchées drainantes dans les remblais de chaussées.

4.3 - SISMICITE

BARR et HEILIGENSTEIN se situe en zone sismique **1A.**

Conformément au règlement 5.2 du PS 92, nous pouvons indiquer que :

- les remblais sont de groupe **c**
- les argiles limoneuses ou limon argileux sont de groupe **c**
- les argiles marneuses ou marnes sont de groupe **b** à **a**.

Par conséquent, le site est à classer en **S2**.

5 – TERRASSEMENT GENERAL

Rappelons la présence d'une nappe de versant pouvant être à faible profondeur en période pluvieuse, et la présence de sols argileux, donc sensibles à l'eau. Nous recommandons de réaliser le chantier de terrassement et de fondations en période estivale, car les terrassements seront tributaires des conditions météorologiques.

- il faudra collecter et évacuer les eaux météoriques et d'infiltration par des fosses et des pentes générales des terrassements vers les exutoires

- protéger immédiatement les excavations par une couche de forme épaisse insensible à l'eau permettant la circulation des engins

- pour les pentes de talus, on ne dépassera pas 2H/1V, pour les talus définitifs, les zones d'arrivées d'eau étant protégées par un masque drainant. Les talus provisoires de hauteur limitée à 3 m non surchargés en tête peuvent être talutés à 3H/2V et seront protégés par des bâches.

6 - INTERPRETATION POUR LA REALISATION DU PROJET

6.1 - PREAMBULE

On recherche une assise sur les marnes ou argile graveleuse de compacité moyenne. On purgera les argiles molles, les remblais et limons.

6.2 - BATIMENT PRINCIPAL ORIENTE EST-OUEST

Ce bâtiment comprend : le CDI, la salle polyvalente, technologie, ateliers SEGPA, administration, enseignement général.

Rappelons que le niveau bas est à la cote 193,8, le local et la galerie technique sont à la cote 191,7.

Les fondations seront constituées de **semelles** descendues à au moins 1,5 m de profondeur par rapport au TN actuel.

- à l'amont, les hauteurs de fondations seront minimales sous un niveau bas, à la cote 193,8 ou 191,7
- à l'aval, il faudra prévoir des approfondissements pour respecter la profondeur minimale.

6.2.1 - CONTRAINTE DE CALCUL

Nous utiliserons les règles de calcul du DTU 13-12 et en particulier la formule pressiométrique usuelle (voir notice jointe) à savoir :

$$qa = \frac{K}{S} (pl - po) + qo$$

Avec :

pl - po	$= \sqrt{0,49 \times 0,69} = 0,58$ MPa
K	= 0,9
S	= 3 aux ELS
S	= 2 aux ELU
qo	= négligeable

d'où qa = 0,17 MPa aux ELS
qa = 0,26 MPa aux ELU

CONTRAINTE DE CALCUL

Nous utilisons la relation pressiométrique habituelle :

$$qa = \frac{K}{S} (pl - po) + qo$$

dans laquelle :

qa : la contrainte de calcul ou pression de contact sous la fondation.

qo : la pression des terres au niveau de la fondation et après construction. Ce poids des terres est à ajouter aux charges apportées par la superstructure.

S : le coefficient de sécurité généralement pris à égal à 3 aux ELS, 2 aux ELU.

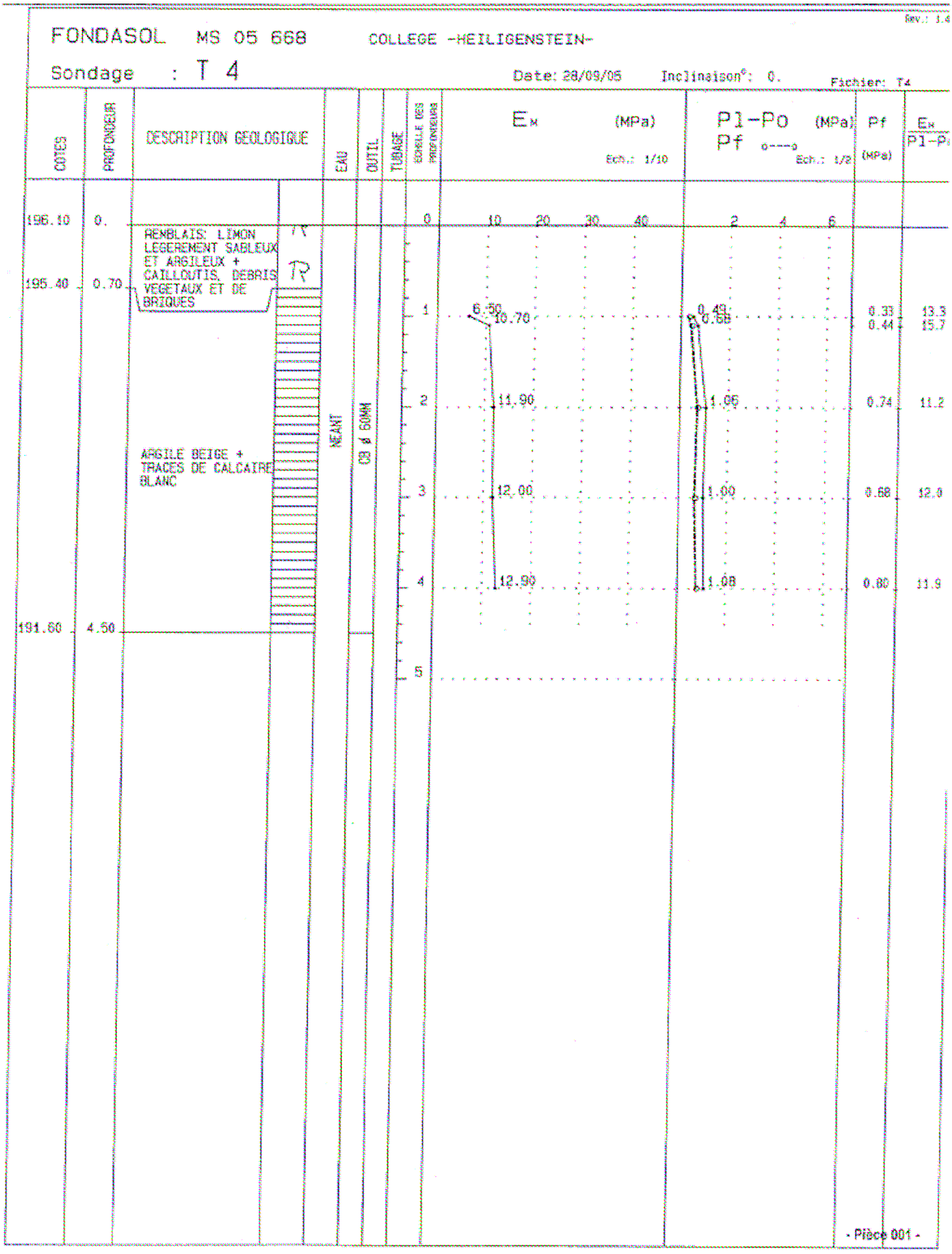
K : le coefficient de portance définissant le rapport des contraintes verticales aux contraintes horizontales. Ce coefficient dépend de la nature du terrain, de la forme de la fondation et de son encagement relatif $\frac{he}{R}$

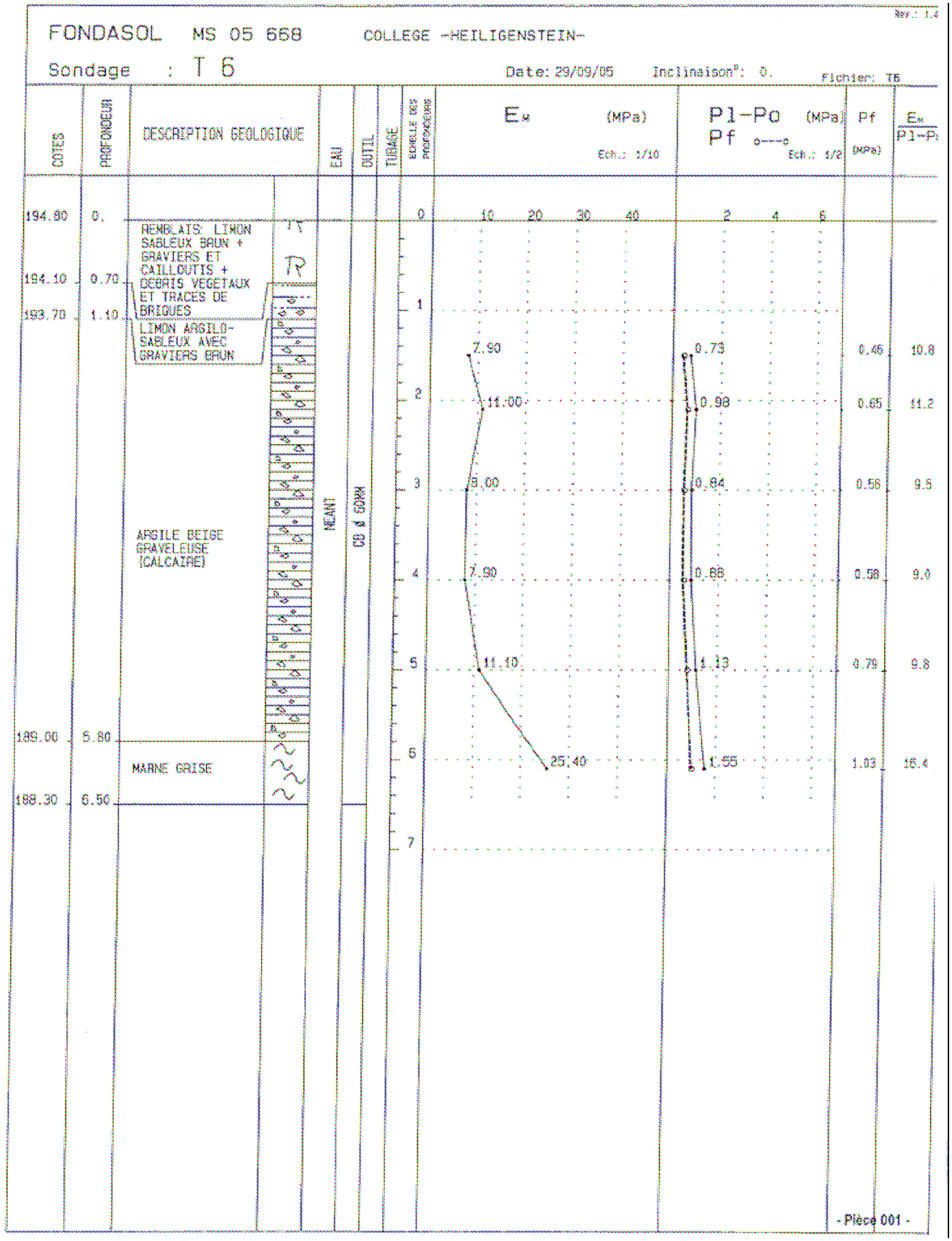
*(**R** = demi-largeur de la fondation ;*
***he** = la hauteur mécaniquement équivalente se différencie de la hauteur réelle d'encagement par une pondération fonction de la pression limite admise sous fondation)*

pl : la pression limite admise sous fondation est déduite de l'ensemble des mesures faites aux pressiomètres.

po : la pression horizontale préexistante dans le terrain au moment des essais.

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES


FONDASOL MS 05 668 COLLEGE -HEILIGENSTEIN-
Sondage : T 4
Date: 28/09/05 Inclinaison°: 0. Fichier: T4
COTES
PROFONDEUR
DESCRIPTION GEOLOGIQUE
EAU
OUTIL
TUBAGE
ECHELLE DES PROFONDEURS
Em (MPa) Ech.: 1/10
Pl-Po (MPa) Pf Ech.: 1/2
Pf (MPa)
Em/Pl-Po
196.10
0.
195.40
0.70
191.60
4.50
REMBLAIS: LIMON LEGEREMENT SABLEUX ET ARGILEUX + CAILLOUTIS, DEBRIS VEGETAUX ET DE BRIQUES
ARGILE BEIGE + TRACES DE CALCAIRE BLANC
NEANT
CB ø 60MM
6.50
10.70
11.90
12.00
12.90
0.49
0.68
1.06
1.00
1.08
0.33
0.44
0.74
0.68
0.80
13.3
15.7
11.2
12.0
11.9
- Pièce 001 -


FONDASOL MS 05 668 COLLEGE -HEILIGENSTEIN-
Sondage : T 6
Date: 29/09/05 Inclinaison°: 0. Fichier: T6
COTES
PROFONDEUR
DESCRIPTION GEOLOGIQUE
EAU
OUTIL
TUBAGE
ECHELLE DES PROFONDEURS
Em (MPa) Ech.: 1/10
Pl-Po (MPa) Pf Ech.: 1/2
Pf (MPa)
Em/Pl-Pf
194.80 0.
194.10 0.70
193.70 1.10
189.00 5.80
188.30 6.50
REMBLAIS: LIMON SABLEUX BRUN + GRAVIERS ET CAILLOUTIS + DEBRIS VEGETAUX ET TRACES DE BRIQUES
LIMON ARGILO-SABLEUX AVEC GRAVIERS BRUN
ARGILE BEIGE GRAVELEUSE (CALCAIRE)
MARNE GRISE
MEANT
CD Ø 66MM
7.90
11.00
8.00
7.90
11.10
25.40
0.73
0.98
0.84
0.66
1.13
1.55
0.46 10.8
0.65 11.2
0.56 9.5
0.56 9.9
0.79 9.8
1.03 16.4
- Pièce 001 -

PARAMETRES SISMIQUES :

canton :	Barr		
arrondissement :	Sélestat-Erstein		
zone sismique	**1A**		
classe du bâtiment :	**C**		
accélération nominale aN:	**1,5**	m/s²	(PS 92/3.3)
amortissement ξ :	**4**	%	(PS 92/6.2.3.4)
correction d'amortissement ρ :	**1,09**		(PS 92/5.2.3.4)
coeff. d'amplification topographique τ :	**1**		(PS 92/5.2.4)
classification des sols :	argile beige de groupe B		(PS 92/5.2.1)
site à classer en zone :	**S2**		(PS 92/5.2.2)

CHARGES D'EXPLOITATION :

Zone	Charge d'exploitation		Coefficient de masse partielle
Circulation :	q = **4,00**	kN/m²	Φ = 0,25
Salle de classe :	q = **2,50**	kN/m²	Φ = 0,40
Chambre internat :	q = **2,50**	kN/m²	Φ = 0,40
Toiture végétalisée :	q = **1,00**	kN/m²	Φ = 0,20

CHARGE DE NEIGE :

zone de neige :	**2A**		
charge de neige sur le sol sk :	**0,55**	kN/m²	
altitude h :	**190**	m	
charge de neige normale s0 :	**0,55**	kN/m²	
coefficient de forme μ :	**0,8**		(toiture plate)
majoration pour faible pente s1 :	**0,20**	kN/m²	
charge de neige s :	**0,64**	kN/m²	(s=μ*s0+s1)

	Charge de neige		Coefficient de masse partielle
	s = **0,64**	kN/m²	Φ = 0,00 (h<500 m)

CHARGES PERMANENTES :

OUVRAGES VERTICAUX :

	l	e		h		ρ		g	
Extérieur									
Pot Acier galva Φ17	0,17	0,01	X	11,00	x	78,5	kN/m3	**2,24**	kN
VS									
mur banché		0,18	x	2,30	x	25,0	kN/m3	**10,35**	kN/ml
mur banché		0,20	x	2,30	x	25,0	kN/m3	**11,50**	kN/ml
mur banché		0,25	x	2,30	x	25,0	kN/m3	**14,38**	kN/ml
RDC									
mur banché		0,18	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**14,40**	kN/ml
mur banché		0,20	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**16,00**	kN/ml
mur banché		0,25	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**20,00**	kN/ml
Pot BA 30x30	0,30	0,30	x	2,80	x	25,0	kN/m3	**6,30**	kN
R+1									
mur banché		0,18	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**14,40**	kN/ml
mur banché		0,20	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**16,00**	kN/ml
mur banché		0,25	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**20,00**	kN/ml
Pot BA 30x30	0,30	0,30	x	2,80	x	25,0	kN/m3	**6,30**	kN
R+2									
mur banché		0,18	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**14,40**	kN/ml
mur banché + acrotère		0,18	x	3,55	x	25,0	kN/m3	**15,98**	kN/ml
mur banché		0,20	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**16,00**	kN/ml
mur banché		0,25	x	3,20	x	25,0	kN/m3	**20,00**	kN/ml
Pot BA 30x30	0,30	0,30	x	2,80	x	25,0	kN/m3	**6,30**	kN

OUVRAGES HORIZONTAUX :

VS

dalle ht VS / circulation						
dalle	0,30	x	x	25,0	kN/m3	7,50 kN/m²
revêtement						0,10 kN/m²
isolant						0,20 kN/m²
divers						0,20 kN/m²
				+		
charges permanentes						**8,00** kN/m²
dallage porté / salle de classe						
dalle	0,30	x	x	25,0	kN/m3	7,50 kN/m²
revêtement						0,20 kN/m²
isolant						0,20 kN/m²
divers						0,35 kN/m²
				+		
charges permanentes						**8,25** kN/m²

RDC

Poutre BA 30x40		0,30 x	0,40 x	25,0 kN/m3	**3,00**	kN/m
dalle Ht RDC / circulation						
dalle			0,30 x	25,0 kN/m3	7,50	kN/m²
revêtement					0,10	kN/m²
faux-plaf.					0,15	kN/m²
				+		
charges permanentes					**7,75**	kN/m²
dalle Ht RDC / salle de classe						
dalle			0,30 x	25,0 kN/m3	7,50	kN/m²
revêtement					0,10	kN/m²
faux-plaf.					0,15	kN/m²
divers					0,50	kN/m²
				+		
charges permanentes					**8,25**	kN/m²

R+1

Poutre BA 30x40	0,30	0,40 x		25,0 kN/m3	**3,00**	kN/m
dalle Ht 1ER / circulation						
dalle		0,30 x	x	25,0 kN/m3	7,50	kN/m²
revêtement					0,10	kN/m²
faux-plaf.					0,15	kN/m²
				+		
charges permanentes					**7,75**	kN/m²
dalle Ht 1ER / chambre internat						
dalle		0,30 x	x	25,0 kN/m3	7,50	kN/m²
revêtement					0,10	kN/m²
faux-plaf.					0,15	kN/m²
divers					0,50	kN/m²
				+		
charges permanentes					**8,25**	kN/m²
atelier / toiture végétalisée						
toiture végétalisée					1,25	kN/m²
faux-plaf					0,15	kN/m²
isolant					0,10	kN/m²
bac acier					0,15	kN/m²
				+		
charges permanentes					**1,65**	kN/m²

R+2

Poutre BA 30x40	0,30	0,40	x		25,0	kN/m3	**3,00** kN/m
Poutre IPE 140					0,13	kN/m	**0,13** kN/m
Poutre IPE 160					0,16	kN/m	**0,16** kN/m

dalle Ht 2E / toiture végétalisée

dalle	0,30	x		x	25,0	kN/m3	7,50 kN/m²
toiture végétalisée							1,25 kN/m²
isolant							0,10 kN/m²
faux-plaf.							0,15 kN/m²
					+		
charges permanentes							**9,00** kN/m²

brise soleil

bac acier						0,15 kN/m²
				+		
charges permanentes						**0,15** kN/m²

Annexe 3

Etude des critères de régularité du Bâtiment 3

- **Poids des différents ouvrages :**

Mur de contreventement	e		h		ρ		**g**	
VS	0,18	x	2,20	x	25,00	kN/m3	**9,90**	kN/ml
VS	0,20	x	2,20	x	25,00	kN/m3	**11,00**	kN/ml
VS	0,25	x	2,20	x	25,00	kN/m3	**13,75**	kN/ml
RDC, R+1, R+2	0,18	x	3,30	x	25,00	kN/m3	**14,85**	kN/ml
RDC, R+1, R+2	0,20	x	3,30	x	25,00	kN/m3	**16,50**	kN/ml
RDC, R+1	0,25	x	3,30	x	25,00	kN/m3	**20,63**	kN/ml
Dalle			g		Φ*q		**g+Φ*q**	
Dalle ht VS			8,00	kN/m²	1,00	kN/m²	**9,00**	kN/m²
Dalle ht RDC			8,00	kN/m²	1,00	kN/m²	**9,00**	kN/m²
Dalle ht R+1			8,00	kN/m²	1,00	kN/m²	**9,00**	kN/m²
Toiture atelier			2,00	kN/m²	0,20	kN/m²	**2,20**	kN/m²
Dalle ht R+2			9,00	kN/m²	0,20	kN/m²	**9,20**	kN/m²
Brise soleil R+2			1,00	kN/m²	0,20	kN/m²	**1,20**	kN/m²

- **Configuration en plan (PS 92/6.6.1.2.1.1) :**

a) Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis-à-vis de deux directions orthogonales, tant en ce qui concerne les raideurs de flexion que la distribution des masses.

➢ Le Bâtiment 3 présente une configuration symétrique dans le sens transversal, les contreventements se situent aux bords du bâtiment sur les axes 6 et 16. Mais dans le sens longitudinal, les contreventements situés principalement axes H et H' rendent le bâtiment dissymétrique.

Le critère n'est pas respecté.

b) La forme de la construction doit être compacte et les dimensions des parties rentrantes ou saillantes ne doivent pas excéder 25 % de la dimension totale du bâtiment dans la direction correspondante.

➢ Le bâtiment ne présente pas de partie rentrante ou saillante.

Le critère est respecté.

c) L'élancement $\eta = L_x / L_y$ de la section en plan du bâtiment ne doit pas excéder la valeur 4.

d) A chaque niveau, y compris dans la hauteur des fondations et pour chaque direction de calcul, l'excentricité structurale doit vérifier :

$$e_0 \leq 0.20r \quad \text{et} \quad r \geq 0.20L$$

avec : e_0 la distance entre le centre de gravité des masses de l'étage et le centre de torsion

r le rayon de torsion défini par

$$r^2 = \frac{\sum raideur\ de\ torsion}{\sum raideur\ de\ translation}$$

e) A chaque niveau et pour chaque direction de séisme, on doit vérifier la relation :

$$r^2 > \frac{L_x^2 + L_y^2}{8} - e_0^2$$

➢ Les critères c), d) et e) sont vérifiés étage par étage sur les pages 3, 4, 5 et 6.

R+2

R+2	Dimension		Position du centre		Poids			Inertie		Produit					
Elément	Lx (m)	Ly (m)	xi (m)	yi (m)	g (+Φ*q)		mi (kN)	Ix,i (m4)	Iy,i (m4)	mi * xi	mi * yi	Ix,i * xi	Iy,i * yi	Ix,i*(xC-xi)²	Iy,i*(yC-yi)²
Dalle	36,50	15,50	18,25	7,70	9,20	kN/m²	5204,9			94989,425	40077,730				
Brise soleil	36,50	4,00	18,25	-2,00	1,20	kN/m²	175,2			3197,400	-350,400				
Voile 6	0,18	8,50	0,00	5,40	14,85	kN/ml	126,2	9,212	0,000	0,000	681,615	0,000	0,000	2536,883	0,000
Voile 16	0,18	8,00	36,50	5,10	14,85	kN/ml	118,8	7,680	0,000	4336,200	605,880	280,320	0,000	3042,897	0,000
Voile H/7	5,00	0,20	3,70	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	305,250	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/9	5,00	0,20	11,00	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	907,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/11	5,00	0,20	18,20	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	1501,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/13	5,00	0,20	25,40	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2095,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/15	5,00	0,20	32,60	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2689,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H'/7	5,00	0,20	3,70	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	305,250	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/9	5,00	0,20	11,00	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	907,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/11	5,00	0,20	18,20	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	1501,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/13	5,00	0,20	25,40	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2095,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/15	5,00	0,20	32,60	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2689,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
							Σ mi	Σ Ix,i	Σ Iy,i	Σ mi*xi	Σ mi*yi	Σ Ix,i*xi	Σ Iy,i*yi	Σ Ix,i*(xC-xi)²	Σ Iy,i*(yC-yi)²
							6450,1	16,892	20,833	117521,525	48316,075	280,320	184,375	5579,781	15,052
										xG (m) =	yG (m) =	xC (m) =	yC (m) =	rx (m) =	ry (m) =
										18,22	7,49	16,59	8,85	18,20	16,39

Critère c) élancement	Lx (m) =	36,50			
	Ly (m) =	19,50	η=Lx/Ly =	1,87	η<4 : **OK**
Critère d) excentricité	e0x (m) =	1,63	0,20rx (m) =	3,64	e0x<0,20rx : **OK**
	e0y (m) =	1,36	0,20ry (m) =	3,28	e0y<0,20ry : **OK**
	rx (m) =	18,20	0,20Lx (m) =	7,3	rx>0,20Lx : **OK**
	ry (m) =	16,39	0,20Ly (m) =	3,9	ry>0,20Ly : **OK**
Critère e)	rx² =	331,21	(Lx²+Ly²)/8-e0x²=	211,4	rx²>(Lx²+Ly²)/8-e0x² : **OK**
	ry² =	268,55	(Lx²+Ly²)/8-e0y²=	212,2	ry²>(Lx²+Ly²)/8-e0y² : **OK**

R+1

R+1	Dimension		Position du centre		Poids			Inertie		Produit					
Elément	Lx (m)	Ly (m)	xi (m)	yi (m)	g (+Φ*q)		mi (kN)	Ix,i (m4)	Iy,i (m4)	mi * xi	mi * yi	Ix,i * xi	Iy,i * yi	Ix,i*(xC-xi)²	Iy,i*(yC-yi)²
Dalle	36,50	12,50	18,25	6,25	9,00	kN/m²	4106,3			74939,063	25664,063				
Atelier	36,50	17,50	18,25	24,30	2,20	kN/m²	1405,3			25645,813	34147,575				
Voile 6	0,18	10,00	0,00	5,00	14,85	kN/ml	148,5	15,000	0,000	0,000	742,500	0,000	0,000	3552,565	0,000
Voile 16	0,18	9,00	36,50	4,50	14,85	kN/ml	133,7	10,935	0,000	4878,225	601,425	399,128	0,000	4873,203	0,000
Voile H/7	5,00	0,20	3,70	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	305,250	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/9	5,00	0,20	11,00	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	907,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/11	5,00	0,20	18,20	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	1501,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/13	5,00	0,20	25,40	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2095,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/15	5,00	0,20	32,60	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2689,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H'/7	5,00	0,20	3,70	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	305,250	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/9	5,00	0,20	11,00	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	907,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/11	5,00	0,20	18,20	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	1501,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/13	5,00	0,20	25,40	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2095,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/15	5,00	0,20	32,60	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2689,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
							Σ mi	Σ Ix,i	Σ Iy,i	Σ mi*xi	Σ mi*yi	Σ Ix,i*xi	Σ Iy,i*yi	Σ Ix,i*(xC-xi)²	Σ Iy,i*(yC-yi)²
							6618,7	25,935	20,833	120461,600	68456,813	399,128	184,375	8425,769	15,052
										xG (m) =	yG (m) =	xC (m) =	yC (m) =	rx (m) =	ry (m) =
										18,20	10,34	15,39	8,85	18,04	20,13

Critère c) élancement	Lx (m) =	36,50			
	Ly (m) =	33,00	η=Lx/Ly =	1,11	η<4 : **OK**
Critère d) excentricité	e0x (m) =	2,81	0,20rx (m) =	3,61	e0x<0,20rx : **OK**
	e0y (m) =	1,49	0,20ry (m) =	4,03	e0y<0,20ry : **OK**
	rx (m) =	18,04	0,20Lx (m) =	7,3	rx>0,20Lx : **OK**
	ry (m) =	20,13	0,20Ly (m) =	6,6	ry>0,20Ly : **OK**
Critère e)	rx² =	325,46	(Lx²+Ly²)/8-e0x²=	294,8	rx²>(Lx²+Ly²)/8-e0x² : **OK**
	ry² =	405,16	(Lx²+Ly²)/8-e0y²=	300,4	ry²>(Lx²+Ly²)/8-e0y² : **OK**

RDC

RDC	Dimension		Position du centre		Poids			Inertie		Produit					
Elément	Lx (m)	Ly (m)	xi (m)	yi (m)	g (+Φ*q)		mi (kN)	Ix,i (m4)	Iy,i (m4)	mi * xi	mi * yi	Ix,i * xi	Iy,i * yi	Ix,i*(xC-xi)²	Iy,i*(yC-yi)²
Dalle	36,50	12,50	18,25	6,50	9,00	kN/m²	4106,3			74939,063	26690,625				
Voile 6	0,18	10,00	0,00	5,00	14,85	kN/ml	148,5	15,000	0,000	0,000	742,500	0,000	0,000	3552,565	0,000
Voile 16	0,18	9,00	36,50	4,50	14,85	kN/ml	133,7	10,935	0,000	4878,225	601,425	399,128	0,000	4873,203	0,000
Voile H/7	5,00	0,20	3,70	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	305,250	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/9	5,00	0,20	11,00	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	907,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/11	5,00	0,20	18,20	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	1501,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/13	5,00	0,20	25,40	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2095,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H/15	5,00	0,20	32,60	9,70	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2689,500	800,250	0,000	20,208	0,000	1,505
Voile H'/7	5,00	0,20	3,70	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	305,250	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/9	5,00	0,20	11,00	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	907,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/11	5,00	0,20	18,20	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	1501,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/13	5,00	0,20	25,40	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2095,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
Voile H'/15	5,00	0,20	32,60	8,00	16,50	kN/ml	82,5	0,000	2,083	2689,500	660,000	0,000	16,667	0,000	1,505
							Σmi	Σ Ix,i	Σ Iy,i	Σ mi*xi	Σ mi*yi	Σ Ix,i*xi	Σ Iy,i*yi	Σ Ix,i*(xC-xi)²	Σ Iy,i*(yC-yi)²
							5213,4	25,935	20,833	94815,788	35335,800	399,128	184,375	8425,769	15,052
										xG (m) = 18,19	yG (m) = 6,78	xC (m) = 15,39	yC (m) = 8,85	rx (m) = 18,04	ry (m) = 20,13

Critère c) élancement	Lx (m) =	36,50			
	Ly (m) =	12,50	η=Lx/Ly =	2,92	η<4 : **OK**
Critère d) excentricité	e0x (m) =	2,80	0,20rx (m) =	3,61	e0x<0,20rx : **OK**
	e0y (m) =	2,07	0,20ry (m) =	4,03	e0y<0,20ry : **OK**
	rx (m) =	18,04	0,20Lx (m) =	7,3	rx>0,20Lx : **OK**
	ry (m) =	20,13	0,20Ly (m) =	2,5	ry>0,20Ly : **OK**
Critère e)	rx² =	325,46	(Lx²+Ly²)/8-e0x²=	178,2	rx²>(Lx²+Ly²)/8-e0x² : **OK**
	ry² =	405,16	(Lx²+Ly²)/8-e0y²=	181,8	ry²>(Lx²+Ly²)/8-e0y² : **OK**

VS

VS	Dimension		Position du centre		Poids			Inertie		Produit					
Elément	Lx (m)	Ly (m)	xi (m)	yi (m)	g (+Φ*q)		mi (kN)	Ix,i (m4)	Iy,i (m4)	mi * xi	mi * yi	Ix,i * xi	Iy,i * yi	Ix,i*(xC-xi)²	Iy,i*(yC-yi)²
Dalle	36,50	15,50	18,25	7,75	9,00	kN/m²	5091,8			92924,438	39461,063				
Voile 6	0,18	10,00	0,00	5,00	9,90	kN/ml	99,0	15,000	0,000	0,000	495,000	0,000	0,000	4995,938	0,000
Voile 16	0,18	10,00	36,50	5,00	9,90	kN/ml	99,0	15,000	0,000	3613,500	495,000	547,500	0,000	4995,938	0,000
Voile H/6	3,20	0,20	1,60	9,70	16,50	kN/ml	52,8	0,000	0,546	84,480	512,160	0,000	5,297	0,000	0,395
Voile H/8	6,00	0,20	7,40	9,70	16,50	kN/ml	99,0	0,000	3,600	732,600	960,300	0,000	34,920	0,000	2,601
Voile H/10	6,00	0,20	14,60	9,70	16,50	kN/ml	99,0	0,000	3,600	1445,400	960,300	0,000	34,920	0,000	2,601
Voile H/12	6,00	0,20	21,80	9,70	16,50	kN/ml	99,0	0,000	3,600	2158,200	960,300	0,000	34,920	0,000	2,601
Voile H/14	6,00	0,20	29,00	9,70	16,50	kN/ml	99,0	0,000	3,600	2871,000	960,300	0,000	34,920	0,000	2,601
Voile H/16	3,20	0,20	34,90	9,70	11,00	kN/ml	35,2	0,000	0,546	1228,480	341,440	0,000	5,297	0,000	4,613
Voile H'	33,50	0,20	18,25	8,00	11,00	kN/ml	368,5	0,000	626,590	6725,125	2948,000	0,000	5012,717	0,000	13295,751
Voile G	36,50	0,25	18,25	15,50	13,75	kN/ml	501,9	0,000	1013,065	9159,219	7779,063	0,000	15702,509	0,000	44800,272
							Σmi	Σ Ix,i	Σ Iy,i	Σ mi*xi	Σ mi*yi	Σ Ix,i*xi	Σ Iy,i*yi	Σ Ix,i*(xC-xi)²	Σ Iy,i*(yC-yi)²
							6644,1	30,000	1655,147	120942,441	55872,925	547,500	20865,501	9991,875	58111,434
										xG (m) =	yG (m) =	xC (m) =	yC (m) =	rx (m) =	ry (m) =
										18,20	8,41	18,25	12,61	47,65	6,41

Critère c) élancement	Lx (m) =	36,50				
	Ly (m) =	15,50	η=Lx/Ly =	2,35	η<4 :	**OK**
Critère d) excentricité	e0x (m) =	0,05	0,20rx (m) =	9,53	e0x<0,20rx :	**OK**
	e0y (m) =	4,20	0,20ry (m) =	1,28	e0y<0,20ry :	**FAUX**
	rx (m) =	47,65	0,20Lx (m) =	7,3	rx>0,20Lx :	**OK**
	ry (m) =	6,41	0,20Ly (m) =	3,1	ry>0,20Ly :	**OK**
Critère e)	rx² =	2270,11	(Lx²+Ly²)/8-e0x²=	196,6	rx²>(Lx²+Ly²)/8-e0x² :	**OK**
	ry² =	41,15	(Lx²+Ly²)/8-e0y²=	178,9	ry²>(Lx²+Ly²)/8-e0y² :	**FAUX**

- **Configuration en élévation (PS 92/6.6.1.2.1.2) :**

a) La structure ne doit pas comporter d'élément porteur vertical dont la charge ne se transmette pas en ligne directe à la fondation. De façon plus générale, il ne doit pas exister de couplage significatif entre degrés de libertés horizontaux et verticaux.

➢ **Critère respecté** (cf. Condition générale (a)).

b) Dans chacun des deux plans verticaux défini par l'axe de torsion et les directions horizontales de calcul, la structure doit pouvoir être réduite par les méthodes de l'article PS 92/6.2 à un système plan ne comportant qu'une seule masse à chaque niveau. Vis-à-vis des excitations verticales, elle doit être réductible à une poutre verticale unique le long de laquelle sont alignées les masses des différents niveaux.

➢ **Critère non respecté** (cf. Condition générale (b)).

c) Dans le cas d'un rétrécissement graduel sur la hauteur et préservant sensiblement la symétrie du bâtiment, le retrait à chaque étage ne doit pas dépasser 15 % de la dimension en plan du niveau précédent, sans que le retrait global ne dépasse 33 % de la dimension en plan de l'ouvrage au sol.

➢ **Critère non applicable au Bâtiment 3**.

d) Dans le cas d'un élargissement graduel sur la hauteur et préservant sensiblement la symétrie du bâtiment, le porte-à-faux à chaque étage ne doit pas dépasser 10% de la dimension en plan du niveau précédent, sans que le porte-à-faux global ne dépasse 25 % de la dimension en plan de l'ouvrage au niveau du sol.

➢ **Critère non applicable au Bâtiment 3**.

e) Dans le cas d'un rétrécissement apparaissant sur une seule façade, le retrait à chaque étage ne doit pas dépasser 10 % de la dimension en plan du niveau précédent, sans que le retrait global ne dépasse 20 % de la dimension en plan de l'ouvrage au niveau du sol.

➢ Il y a un rétrécissement apparaissant sur la façade Nord entre le niveau R+1 et le niveau R+2.

$$\frac{L_{y,R+2}}{L_{y,R+1}}=\frac{15.50}{33.00}=47\%\geq 10\%$$

Critère non respecté.

f) Par dérogation à la règle (c), si un seul rétrécissement au plus égal à 33 % et préservant la symétrie se trouve placé dans les 15% inférieurs ou supérieurs de la hauteur totale du bâtiment au-dessus du sol d'assise des fondations, le bâtiment peut encore être classé comme régulier.

- **Critère non applicable au Bâtiment 3**.

g) Par dérogation à la règle (d), si un seul élargissement au plus égal à 25 % et préservant la symétrie se trouve placé dans les 15 % inférieurs de la hauteur totale du bâtiment, celui-ci peut encore être classé comme régulier.

- **Critère non applicable au Bâtiment 3**.

h) La distribution des raideurs doit être sensiblement régulière sur la hauteur de l'ouvrage, le rapport des raideurs étant compris entre les valeurs suivantes :

$$0.67 \leq \frac{K_i}{K_{i-1}} \leq 1.33$$

K_i et K_{i-1} étant les raideurs des contreventements de 2 étages consécutifs dans la même direction de calcul.

i) La distribution des masses doit être sensiblement régulière sur la hauteur de l'ouvrage, le rapport des masses étant compris entre les valeurs suivantes :

$$0.85 \leq \frac{m_i}{m_{i-1}} \leq 1.10$$

$$0.80 \leq \frac{m_i}{m} \leq 1.20$$

dans tous les cas, sauf pour les bâtiments définis aux alinéas (d) et (e), où dans ce cas :

$$0.90 \leq \frac{m_i}{m} \leq 1.10$$

m_i et m_{i-1} étant les masses de 2 étages consécutifs, m la masse moyenne d'un étage.

- Les critères h) et i) sont vérifiés sur la page 9.

	Etage i :	R+2	R+1	RDC	VS
Distribution des raideurs	Ix,i (m4)	16,89	25,94	25,94	30,00
0,67<Ix,i/Ix,i-1<1,33 :	Ix,i/Ix,i-1	0,65	1,00	0,86	
Critère h)		**FAUX**	**OK**	**OK**	
Distribution des raideurs	Iy,i (m4)	20,83	20,83	20,83	1655,15
0,67<Iy,i/Iy,i-1<1,33 :	Iy,i/Iy,i-1	1,00	1,00	0,01	
Critère h)		**OK**	**OK**	**FAUX**	
Distribution des masses	m,i (kN)	6450,13	6618,65	5213,40	6644,13
0,85<m,i/m,i-1<1,10 :	m,i/m,i-1	0,975	1,270	0,785	
Critère i)		**OK**	**FAUX**	**FAUX**	
m (kN)=Σm,i/4=	6231,6				
0,90<m,i/m<1,10 :	m,i/m	1,035	1,062	0,837	1,066
Critère i)		**OK**	**OK**	**FAUX**	**OK**

Annexe 4

Résultats de l'analyse modale

Calculs sismiques - méthode avancée

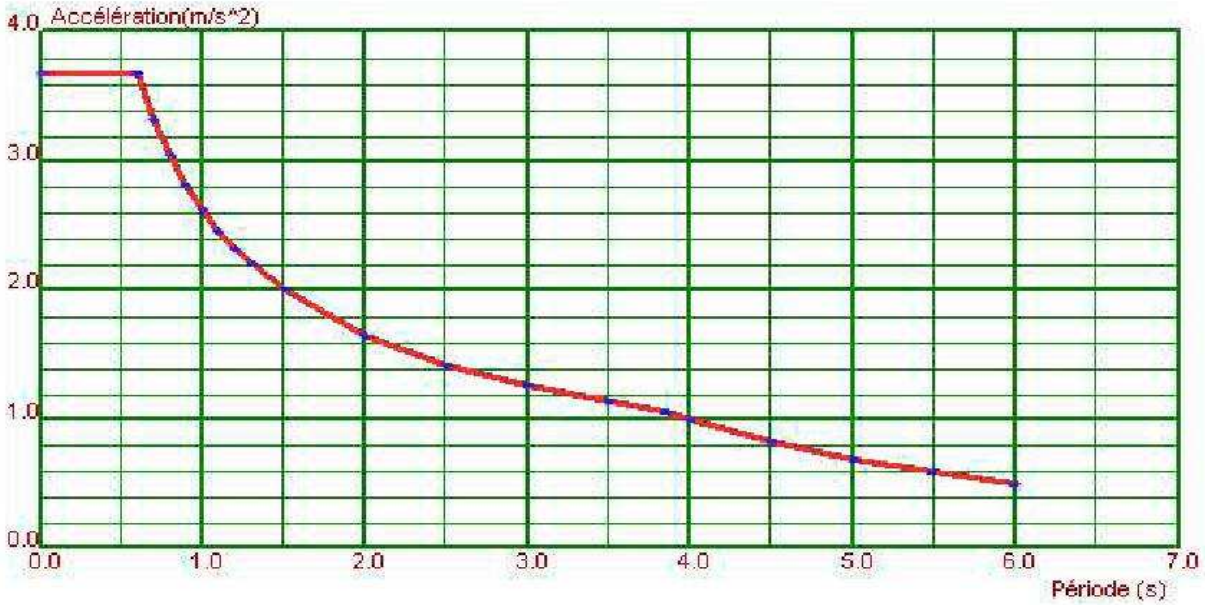
Données

Norme	: PS92
Classe d'ouvrage	: C
Zone de sismicité	: IA
Site	: S2
Topographie	: 1,00
Coefficient de comportement	: 1,40
Coefficients de conversion des charges:	
Coefficient pour les charges permanentes	: 1,00
Coefficient pour les charges d'exploitation	CE100 : 0,20 CE250 : 0,40 CE400 : 0,25
Coefficient pour les charges de neige	: 0,00
Coefficient pour les charges accidentelles	: 1,00
Combinaisons modales	: CQC
Combinaisons des directions sismiques	: NEWMARK μ = 0,30 λ = 0,30

Paramètres du spectre

Accélérations nominales aN	: 1,50 [m/s2]
Amortissement ζ	: 0,04
Correction de l'amortissement : 1,09	

Spectre pour les directions horizontales



TB = 0,30 TC = 0,60 TD = 3,85
RA = 0,90 RM = 2,25

T - Période
f - Fréquence (Hz)
m - Masses actuelles (%)
m' - Masses cumulées (%)
a - Accélérations spectrales (m/s2)

Direction X
Vecteur d'excitation : [1,30 ; 0 ; 0]
Masse totale : 2780110,38 (kg)

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UX (%)	m' - UX (%)	a (m/s2)
1	0,95	1,05	0,00	0,00	2,72
2	0,74	1,35	0,00	0,00	3,21
3	0,67	1,49	0,00	0,00	3,42
4	0,50	2,00	0,00	0,00	3,69
5	0,45	2,20	0,00	0,00	3,69
6	0,38	2,60	0,00	0,00	3,69
7	0,38	2,62	0,00	0,00	3,69
8	0,38	2,63	0,00	0,00	3,69
9	0,38	2,64	0,00	0,00	3,69
10	0,34	2,94	1,94	1,95	3,69
11	0,28	3,54	0,00	1,95	3,69
12	0,28	3,54	0,00	1,95	3,69
13	0,28	3,63	0,00	1,95	3,69
14	0,26	3,86	0,00	1,95	3,69
15	0,24	4,11	0,02	1,96	3,69
16	0,24	4,11	0,01	1,98	3,69
17	0,24	4,24	0,00	1,98	3,69
18	0,22	4,55	0,00	1,98	3,69
19	0,22	4,58	0,00	1,98	3,69
20	0,21	4,74	0,00	1,98	3,69
21	0,21	4,75	0,00	1,98	3,69
22	0,21	4,78	0,01	1,99	3,69
23	0,21	4,78	0,01	2,00	3,69
24	0,21	4,84	0,00	2,00	3,69
25	0,21	4,86	0,00	2,00	3,69
26	0,20	4,91	0,00	2,00	3,69
27	0,20	4,91	0,00	2,00	3,69
28	0,20	4,96	0,00	2,00	3,69
29	0,20	4,96	0,00	2,00	3,69
30	0,20	4,96	0,00	2,00	3,69
31	0,20	5,05	0,00	2,00	3,69
32	0,20	5,06	0,00	2,00	3,69
33	0,20	5,12	0,00	2,00	3,69
34	0,19	5,14	0,00	2,00	3,69
35	0,19	5,15	0,00	2,00	3,69
36	0,19	5,20	0,00	2,00	3,69
37	0,19	5,20	0,00	2,00	3,69
38	0,19	5,25	0,00	2,00	3,69
39	0,19	5,26	0,01	2,01	3,69
40	0,19	5,30	0,00	2,01	3,69
41	0,19	5,34	0,00	2,01	3,69
42	0,19	5,35	0,00	2,01	3,69

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UX (%)	m' - UX (%)	a (m/s2)
43	0,18	5,43	0,02	2,03	3,69
44	0,18	5,45	0,00	2,03	3,69
45	0,18	5,49	0,00	2,03	3,69
46	0,18	5,51	0,00	2,03	3,69
47	0,18	5,52	0,16	2,19	3,69
48	0,18	5,53	0,00	2,19	3,69
49	0,18	5,59	0,00	2,19	3,69
50	0,18	5,65	0,08	2,27	3,69
51	0,18	5,71	0,07	2,34	3,69
52	0,17	5,74	0,00	2,34	3,69
53	0,17	5,77	0,00	2,34	3,69
54	0,17	5,81	0,00	2,34	3,69
55	0,17	5,84	0,00	2,34	3,69
56	0,16	6,14	0,00	2,34	3,69
57	0,16	6,18	0,00	2,34	3,69
58	0,16	6,20	0,00	2,34	3,69
59	0,16	6,20	0,00	2,34	3,69
60	0,16	6,22	0,00	2,34	3,69
61	0,16	6,23	0,00	2,34	3,69
62	0,16	6,26	0,00	2,34	3,69
63	0,16	6,27	0,00	2,34	3,69
64	0,16	6,30	0,00	2,34	3,69
65	0,16	6,34	0,00	2,34	3,69
66	0,15	6,53	0,00	2,34	3,69
67	0,15	6,66	0,00	2,34	3,69
68	0,15	6,69	0,00	2,34	3,69
69	0,15	6,75	0,00	2,34	3,69
70	0,15	6,77	0,00	2,34	3,69
71	0,15	6,80	0,00	2,34	3,69
72	0,15	6,82	0,00	2,34	3,69
73	0,14	6,90	0,02	2,36	3,69
74	0,14	7,04	0,00	2,36	3,69
75	0,14	7,13	0,00	2,36	3,69
76	0,14	7,17	0,00	2,36	3,69
77	0,14	7,34	0,00	2,36	3,69
78	0,13	7,45	0,00	2,36	3,69
79	0,13	7,48	0,00	2,36	3,69
80	0,13	7,69	0,00	2,36	3,69
81	0,13	7,72	0,00	2,36	3,69
82	0,13	7,73	0,00	2,36	3,69
83	0,13	7,91	0,00	2,36	3,69
84	0,12	8,01	0,00	2,36	3,69
85	0,12	8,17	0,00	2,36	3,69
86	0,12	8,30	0,00	2,36	3,69
87	0,12	8,37	0,00	2,36	3,69
88	0,12	8,52	0,00	2,36	3,69
89	0,12	8,53	0,01	2,37	3,69
90	0,12	8,58	6,46	8,84	3,69
91	0,11	8,77	0,00	8,84	3,69

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UX (%)	m' - UX (%)	a (m/s2)
92	0,11	8,78	0,00	8,84	3,69
93	0,11	8,85	0,00	8,84	3,69
94	0,11	8,90	0,00	8,84	3,69
95	0,11	8,97	0,00	8,84	3,69
96	0,11	8,98	0,01	8,85	3,69
97	0,11	9,00	0,00	8,85	3,69
98	0,11	9,09	0,00	8,85	3,69
99	0,11	9,11	0,00	8,85	3,69
100	0,11	9,16	0,00	8,85	3,69
101	0,11	9,40	0,12	8,97	3,69
102	0,11	9,40	0,45	9,42	3,69
103	0,11	9,44	5,82	15,24	3,69
104	0,11	9,51	0,00	15,24	3,69
105	0,10	9,64	0,68	15,92	3,69
106	0,10	9,67	0,02	15,94	3,69
107	0,10	9,73	0,00	15,94	3,69
108	0,10	9,74	0,00	15,94	3,69
109	0,10	9,76	0,03	15,97	3,69
110	0,10	9,77	0,00	15,97	3,69
111	0,10	9,79	0,00	15,97	3,69
112	0,10	9,79	0,00	15,97	3,69
113	0,10	9,79	0,00	15,97	3,69
114	0,10	9,80	0,01	15,98	3,69
115	0,10	9,82	0,02	16,00	3,69
116	0,10	9,82	0,02	16,02	3,69
117	0,10	9,84	0,07	16,08	3,69
118	0,10	9,85	0,01	16,09	3,69
119	0,10	9,94	0,00	16,09	3,69
120	0,10	9,95	0,00	16,09	3,69
121	0,10	9,96	0,00	16,09	3,69
122	0,10	9,97	2,21	18,31	3,69
123	0,10	9,98	0,00	18,31	3,69
124	0,10	9,98	0,01	18,32	3,69
125	0,10	9,99	0,00	18,32	3,69
126	0,10	10,09	0,00	18,32	3,69
127	0,10	10,21	0,01	18,33	3,69
128	0,10	10,28	1,17	19,50	3,69
129	0,10	10,37	0,00	19,50	3,69
130	0,10	10,43	2,89	22,39	3,69
131	0,09	10,61	0,00	22,39	3,69
132	0,09	10,61	0,00	22,40	3,69
133	0,09	10,68	0,01	22,40	3,69
134	0,09	10,71	0,00	22,40	3,69
135	0,09	10,99	0,00	22,40	3,69
136	0,09	11,01	0,01	22,41	3,69
137	0,09	11,07	0,09	22,50	3,69
138	0,09	11,22	0,06	22,56	3,69
139	0,09	11,41	0,03	22,59	3,69
140	0,09	11,49	0,01	22,60	3,69
141	0,09	11,59	0,00	22,60	3,69

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UX (%)	m' - UX (%)	a (m/s2)
142	0,09	11,62	0,34	22,93	3,69
143	0,09	11,70	0,00	22,93	3,69
144	0,09	11,74	0,14	23,07	3,69
145	0,08	11,79	0,14	23,22	3,69
146	0,08	12,01	0,70	23,92	3,69
147	0,08	12,02	0,00	23,92	3,69
148	0,08	12,04	0,37	24,29	3,69
149	0,08	12,08	0,41	24,70	3,69
150	0,08	12,14	0,03	24,73	3,69
151	0,08	12,21	1,23	25,96	3,69
152	0,08	12,24	0,15	26,11	3,69
153	0,08	12,31	9,40	35,51	3,69
154	0,08	12,51	3,18	38,69	3,69
155	0,08	12,61	21,00	59,69	3,69
156	0,08	12,65	0,01	59,70	3,69
157	0,08	12,67	2,30	61,99	3,69
158	0,08	12,73	0,01	62,00	3,69
159	0,08	12,83	0,03	62,04	3,69
160	0,08	12,92	14,52	76,56	3,69

T - Période
f - Fréquence (Hz)
m - Masses actuelles (%)
m' - Masses cumulées (%)
a - Accélérations spectrales (m/s2)

Direction Y
Vecteur d'excitation : [0 ; 1,33 ; 0]
Masse totale : 2780110,38 (kg)

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UY (%)	m' - UY (%)	a (m/s2)
1	0,95	1,05	0,00	0,00	2,72
2	0,74	1,35	0,00	0,00	3,21
3	0,67	1,49	0,00	0,00	3,42
4	0,50	2,00	0,00	0,00	3,69
5	0,45	2,20	0,00	0,00	3,69
6	0,38	2,60	0,00	0,00	3,69
7	0,38	2,62	0,00	0,00	3,69
8	0,38	2,63	0,00	0,00	3,69
9	0,38	2,64	0,00	0,00	3,69
10	0,34	2,94	1,36	1,36	3,69
11	0,28	3,54	0,00	1,36	3,69
12	0,28	3,54	0,00	1,36	3,69
13	0,28	3,63	0,00	1,36	3,69
14	0,26	3,86	0,00	1,36	3,69
15	0,24	4,11	0,00	1,36	3,69
16	0,24	4,11	0,00	1,36	3,69
17	0,24	4,24	0,00	1,36	3,69
18	0,22	4,55	0,00	1,36	3,69
19	0,22	4,58	0,00	1,36	3,69
20	0,21	4,74	2,84	4,20	3,69
21	0,21	4,75	0,16	4,35	3,69
22	0,21	4,78	4,35	8,70	3,69
23	0,21	4,78	1,65	10,35	3,69
24	0,21	4,84	0,00	10,35	3,69
25	0,21	4,86	0,00	10,36	3,69
26	0,20	4,91	0,04	10,40	3,69
27	0,20	4,91	0,00	10,40	3,69
28	0,20	4,96	0,00	10,40	3,69
29	0,20	4,96	0,00	10,40	3,69
30	0,20	4,96	0,00	10,40	3,69
31	0,20	5,05	0,00	10,40	3,69
32	0,20	5,06	0,02	10,43	3,69
33	0,20	5,12	0,00	10,43	3,69
34	0,19	5,14	0,00	10,43	3,69
35	0,19	5,15	0,00	10,43	3,69
36	0,19	5,20	0,00	10,43	3,69
37	0,19	5,20	0,00	10,43	3,69
38	0,19	5,25	0,00	10,43	3,69
39	0,19	5,26	0,00	10,43	3,69
40	0,19	5,30	0,00	10,43	3,69
41	0,19	5,34	0,00	10,43	3,69
42	0,19	5,35	0,00	10,43	3,69

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UY (%)	m' - UY (%)	a (m/s2)
43	0,18	5,43	0,00	10,43	3,69
44	0,18	5,45	0,00	10,43	3,69
45	0,18	5,49	0,02	10,45	3,69
46	0,18	5,51	0,00	10,45	3,69
47	0,18	5,52	0,01	10,46	3,69
48	0,18	5,53	0,00	10,46	3,69
49	0,18	5,59	0,00	10,47	3,69
50	0,18	5,65	0,97	11,44	3,69
51	0,18	5,71	58,68	70,12	3,69
52	0,17	5,74	0,13	70,25	3,69
53	0,17	5,77	0,01	70,26	3,69
54	0,17	5,81	0,00	70,27	3,69
55	0,17	5,84	0,00	70,27	3,69
56	0,16	6,14	0,00	70,27	3,69
57	0,16	6,18	0,00	70,27	3,69
58	0,16	6,20	0,00	70,27	3,69
59	0,16	6,20	0,00	70,27	3,69
60	0,16	6,22	0,00	70,27	3,69
61	0,16	6,23	0,00	70,27	3,69
62	0,16	6,26	0,00	70,27	3,69
63	0,16	6,27	0,00	70,27	3,69
64	0,16	6,30	0,00	70,27	3,69
65	0,16	6,34	0,00	70,27	3,69
66	0,15	6,53	0,00	70,27	3,69
67	0,15	6,66	0,00	70,27	3,69
68	0,15	6,69	0,00	70,27	3,69
69	0,15	6,75	0,01	70,28	3,69
70	0,15	6,77	0,00	70,28	3,69
71	0,15	6,80	0,00	70,28	3,69
72	0,15	6,82	0,01	70,29	3,69
73	0,14	6,90	2,19	72,47	3,69
74	0,14	7,04	0,00	72,48	3,69
75	0,14	7,13	0,00	72,48	3,69
76	0,14	7,17	0,00	72,48	3,69
77	0,14	7,34	0,00	72,48	3,69
78	0,13	7,45	0,00	72,48	3,69
79	0,13	7,48	0,00	72,48	3,69
80	0,13	7,69	0,00	72,48	3,69
81	0,13	7,72	0,00	72,48	3,69
82	0,13	7,73	0,00	72,48	3,69
83	0,13	7,91	0,00	72,48	3,69
84	0,12	8,01	0,00	72,48	3,69
85	0,12	8,17	0,00	72,48	3,69
86	0,12	8,30	0,00	72,48	3,69
87	0,12	8,37	0,00	72,48	3,69
88	0,12	8,52	0,00	72,48	3,69
89	0,12	8,53	0,00	72,48	3,69
90	0,12	8,58	0,59	73,06	3,69
91	0,11	8,77	0,00	73,06	3,69

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UY (%)	m' - UY (%)	a (m/s2)
92	0,11	8,78	0,00	73,06	3,69
93	0,11	8,85	0,00	73,06	3,69
94	0,11	8,90	0,00	73,07	3,69
95	0,11	8,97	0,00	73,07	3,69
96	0,11	8,98	0,00	73,07	3,69
97	0,11	9,00	0,00	73,07	3,69
98	0,11	9,09	0,00	73,07	3,69
99	0,11	9,11	0,00	73,07	3,69
100	0,11	9,16	0,00	73,07	3,69
101	0,11	9,40	0,00	73,07	3,69
102	0,11	9,40	0,00	73,07	3,69
103	0,11	9,44	0,00	73,07	3,69
104	0,11	9,51	0,00	73,07	3,69
105	0,10	9,64	0,13	73,20	3,69
106	0,10	9,67	0,00	73,20	3,69
107	0,10	9,73	0,01	73,21	3,69
108	0,10	9,74	0,00	73,21	3,69
109	0,10	9,76	0,01	73,22	3,69
110	0,10	9,77	0,00	73,22	3,69
111	0,10	9,79	0,00	73,22	3,69
112	0,10	9,79	0,00	73,22	3,69
113	0,10	9,79	0,00	73,22	3,69
114	0,10	9,80	0,00	73,22	3,69
115	0,10	9,82	0,08	73,30	3,69
116	0,10	9,82	0,28	73,58	3,69
117	0,10	9,84	0,03	73,60	3,69
118	0,10	9,85	0,01	73,61	3,69
119	0,10	9,94	0,00	73,61	3,69
120	0,10	9,95	0,00	73,61	3,69
121	0,10	9,96	0,00	73,61	3,69
122	0,10	9,97	0,93	74,54	3,69
123	0,10	9,98	0,00	74,54	3,69
124	0,10	9,98	0,00	74,54	3,69
125	0,10	9,99	0,00	74,55	3,69
126	0,10	10,09	0,00	74,55	3,69
127	0,10	10,21	0,00	74,55	3,69
128	0,10	10,28	0,00	74,55	3,69
129	0,10	10,37	0,00	74,55	3,69
130	0,10	10,43	0,06	74,61	3,69
131	0,09	10,61	0,00	74,61	3,69
132	0,09	10,61	0,00	74,61	3,69
133	0,09	10,68	0,00	74,61	3,69
134	0,09	10,71	0,00	74,61	3,69
135	0,09	10,99	0,00	74,61	3,69
136	0,09	11,01	0,00	74,61	3,69
137	0,09	11,07	0,30	74,91	3,69
138	0,09	11,22	0,06	74,97	3,69
139	0,09	11,41	0,00	74,97	3,69
140	0,09	11,49	0,00	74,97	3,69
141	0,09	11,59	0,00	74,97	3,69

Mode	T (s)	f (Hz)	m - UY (%)	m' - UY (%)	a (m/s2)
142	0,09	11,62	0,00	74,97	3,69
143	0,09	11,70	0,00	74,97	3,69
144	0,09	11,74	0,00	74,97	3,69
145	0,08	11,79	0,00	74,97	3,69
146	0,08	12,01	0,00	74,97	3,69
147	0,08	12,02	0,05	75,02	3,69
148	0,08	12,04	0,00	75,02	3,69
149	0,08	12,08	0,00	75,02	3,69
150	0,08	12,14	0,00	75,02	3,69
151	0,08	12,21	0,02	75,04	3,69
152	0,08	12,24	0,00	75,04	3,69
153	0,08	12,31	0,00	75,04	3,69
154	0,08	12,51	0,00	75,04	3,69
155	0,08	12,61	0,25	75,29	3,69
156	0,08	12,65	0,01	75,30	3,69
157	0,08	12,67	0,14	75,44	3,69
158	0,08	12,73	0,00	75,44	3,69
159	0,08	12,83	0,03	75,46	3,69
160	0,08	12,92	0,33	75,80	3,69

Résultats de l'analyse modale

N° du mode	Fréquence [Hz]	Participation des masses [%]	
		(Direction X)	(Direction Y)
1	1.05	0.00	0.00
2	1.35	0.00	0.00
3	1.49	0.00	0.00
4	2.00	0.00	0.00
5	2.20	0.00	0.00
6	2.60	0.00	0.00
7	2.62	0.00	0.00
8	2.63	0.00	0.00
9	2.64	0.00	0.00
10	2.94	1.94	1.36
11	3.54	0.00	0.00
12	3.54	0.00	0.00
13	3.63	0.00	0.00
14	3.86	0.00	0.00
15	4.11	0.02	0.00
16	4.11	0.01	0.00
17	4.24	0.00	0.00
18	4.55	0.00	0.00
19	4.58	0.00	0.00
20	4.74	0.00	2.84
21	4.75	0.00	0.16
22	4.78	0.01	4.35
23	4.78	0.01	1.65
24	4.84	0.00	0.00
25	4.86	0.00	0.00
26	4.91	0.00	0.04
27	4.91	0.00	0.00
28	4.96	0.00	0.00
29	4.96	0.00	0.00
30	4.96	0.00	0.00
31	5.05	0.00	0.00
32	5.06	0.00	0.02
33	5.12	0.00	0.00
34	5.14	0.00	0.00
35	5.15	0.00	0.00
36	5.20	0.00	0.00
37	5.20	0.00	0.00
38	5.25	0.00	0.00
39	5.26	0.01	0.00
40	5.30	0.00	0.00

Résultats de l'analyse modale

N° du mode	Fréquence [Hz]	Participation des masses [%]	
		(Direction X)	(Direction Y)
41	5.34	0.00	0.00
42	5.35	0.00	0.00
43	5.43	0.02	0.00
44	5.45	0.00	0.00
45	5.49	0.00	0.02
46	5.51	0.00	0.00
47	5.52	0.16	0.01
48	5.53	0.00	0.00
49	5.59	0.00	0.00
50	5.65	0.08	0.97
51	5.71	0.07	58.68
52	5.74	0.00	0.13
53	5.77	0.00	0.01
54	5.81	0.00	0.00
55	5.84	0.00	0.00
56	6.14	0.00	0.00
57	6.18	0.00	0.00
58	6.20	0.00	0.00
59	6.20	0.00	0.00
60	6.22	0.00	0.00
61	6.23	0.00	0.00
62	6.26	0.00	0.00
63	6.27	0.00	0.00
64	6.30	0.00	0.00
65	6.34	0.00	0.00
66	6.53	0.00	0.00
67	6.66	0.00	0.00
68	6.69	0.00	0.00
69	6.75	0.00	0.01
70	6.77	0.00	0.00
71	6.80	0.00	0.00
72	6.82	0.00	0.01
73	6.90	0.02	2.19
74	7.04	0.00	0.00
75	7.13	0.00	0.00
76	7.17	0.00	0.00
77	7.34	0.00	0.00
78	7.45	0.00	0.00
79	7.48	0.00	0.00
80	7.69	0.00	0.00
81	7.72	0.00	0.00
82	7.73	0.00	0.00
83	7.91	0.00	0.00
84	8.01	0.00	0.00
85	8.17	0.00	0.00
86	8.30	0.00	0.00
87	8.37	0.00	0.00
88	8.52	0.00	0.00

Résultats de l'analyse modale

N° du mode	Fréquence [Hz]	Participation des masses [%]	
		(Direction X)	(Direction Y)
89	8.53	0.01	0.00
90	8.58	6.46	0.59
91	8.77	0.00	0.00
92	8.78	0.00	0.00
93	8.85	0.00	0.00
94	8.90	0.00	0.00
95	8.97	0.00	0.00
96	8.98	0.01	0.00
97	9.00	0.00	0.00
98	9.09	0.00	0.00
99	9.11	0.00	0.00
100	9.16	0.00	0.00
101	9.40	0.12	0.00
102	9.40	0.45	0.00
103	9.44	5.82	0.00
104	9.51	0.00	0.00
105	9.64	0.68	0.13
106	9.67	0.02	0.00
107	9.73	0.00	0.01
108	9.74	0.00	0.00
109	9.76	0.03	0.01
110	9.77	0.00	0.00
111	9.79	0.00	0.00
112	9.79	0.00	0.00
113	9.79	0.00	0.00
114	9.80	0.01	0.00
115	9.82	0.02	0.08
116	9.82	0.02	0.28
117	9.84	0.07	0.03
118	9.85	0.01	0.01
119	9.94	0.00	0.00
120	9.95	0.00	0.00
121	9.96	0.00	0.00
122	9.97	2.21	0.93
123	9.98	0.00	0.00
124	9.98	0.01	0.00
125	9.99	0.00	0.00
126	10.09	0.00	0.00
127	10.21	0.01	0.00
128	10.28	1.17	0.00
129	10.37	0.00	0.00
130	10.43	2.89	0.06
131	10.61	0.00	0.00
132	10.61	0.00	0.00
133	10.68	0.01	0.00
134	10.71	0.00	0.00
135	10.99	0.00	0.00
136	11.01	0.01	0.00

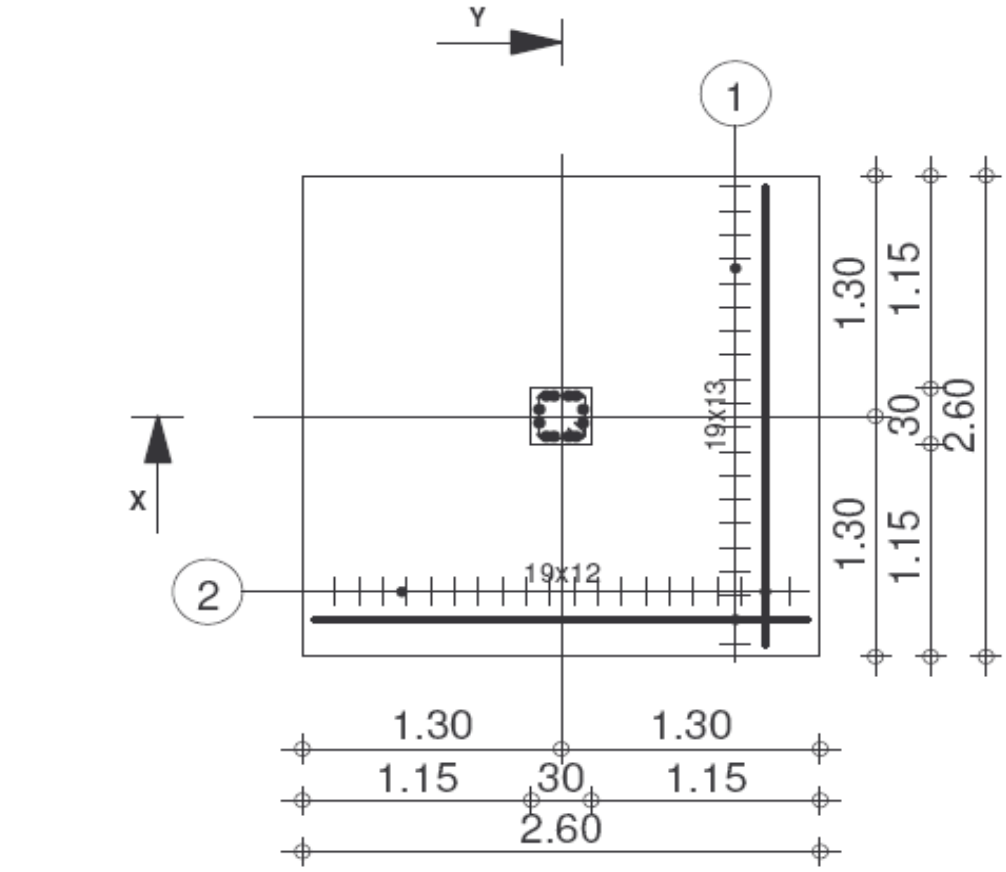
Résultats de l'analyse modale

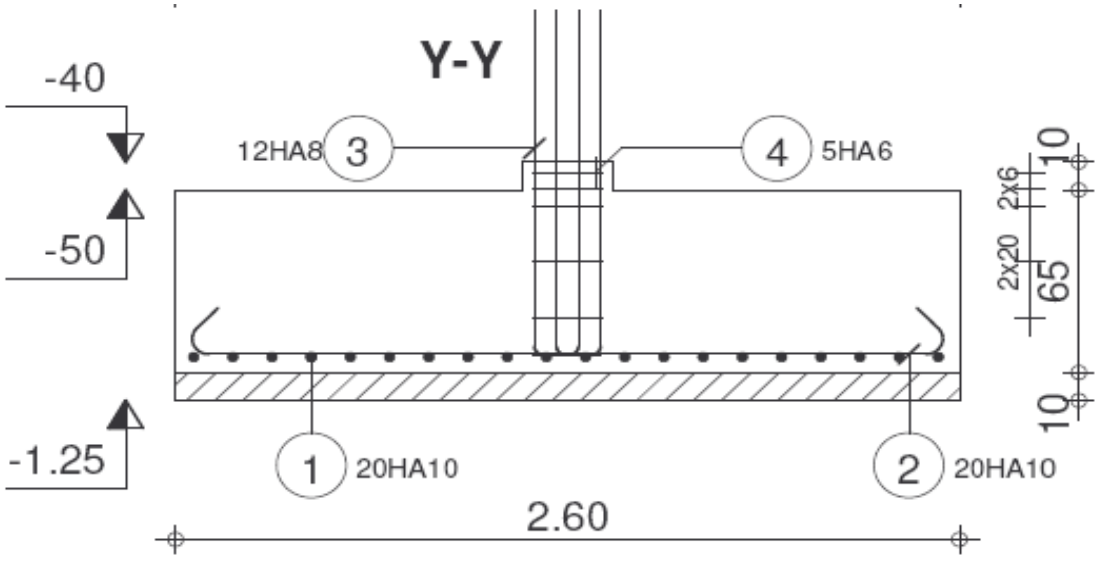
N° du mode	Fréquence [Hz]	Participation des masses [%]	
		(Direction X)	(Direction Y)
137	11.07	0.09	0.30
138	11.22	0.06	0.06
139	11.41	0.03	0.00
140	11.49	0.01	0.00
141	11.59	0.00	0.00
142	11.62	0.34	0.00
143	11.70	0.00	0.00
144	11.74	0.14	0.00
145	11.79	0.14	0.00
146	12.01	0.70	0.00
147	12.02	0.00	0.05
148	12.04	0.37	0.00
149	12.08	0.41	0.00
150	12.14	0.03	0.00
151	12.21	1.23	0.02
152	12.24	0.15	0.00
153	12.31	9.40	0.00
154	12.51	3.18	0.00
155	12.61	21.00	0.25
156	12.65	0.01	0.01
157	12.67	2.30	0.14
158	12.73	0.01	0.00
159	12.83	0.03	0.03
160	12.92	14.52	0.33
Somme		**76.56**	**75.80**

Annexe 5

Exploitation des résultats

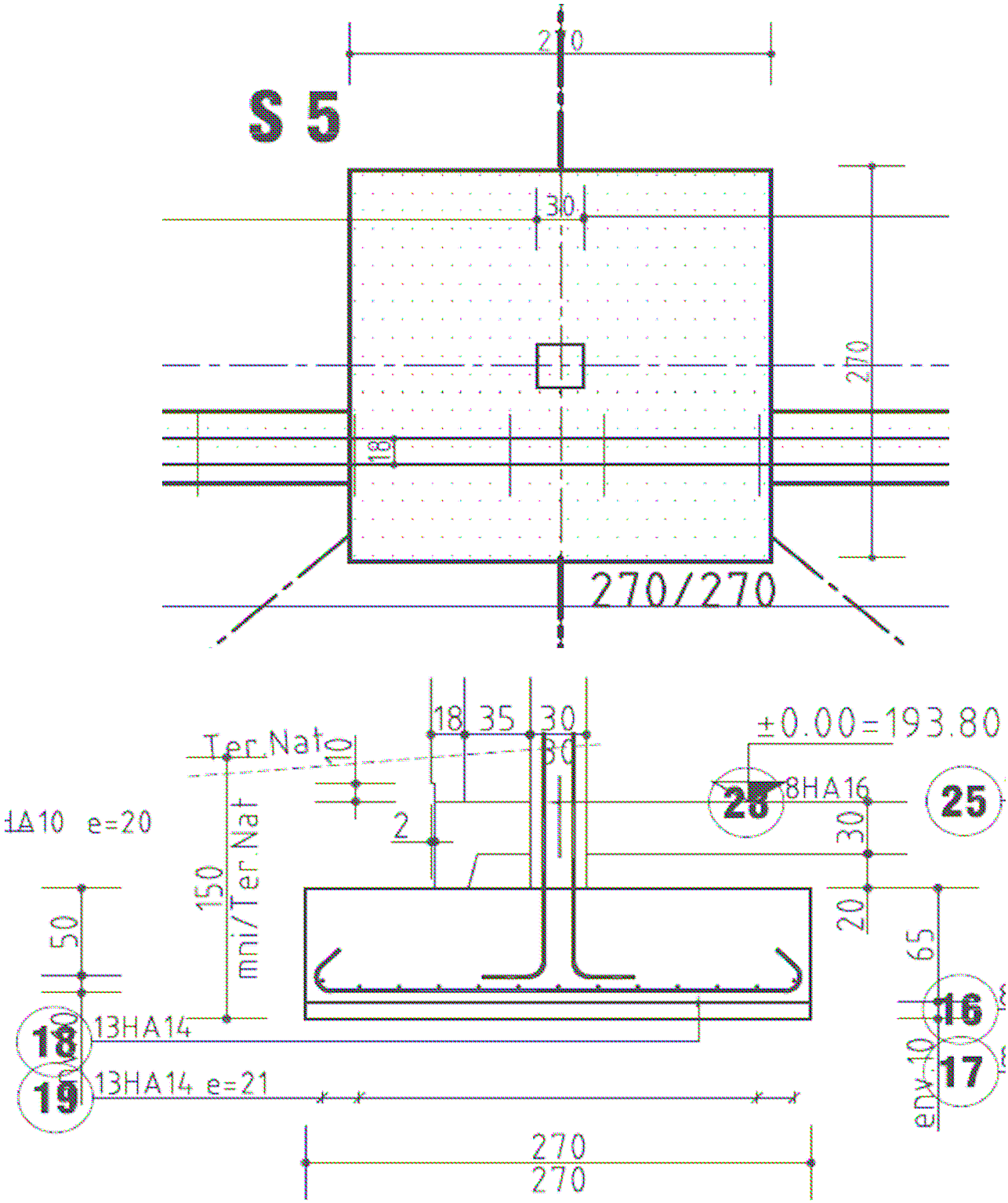
Annexe 5.1 : **Semelle isolée Axes J/14**
Résultats Robot Millenium





20HA10= 15,71 cm²

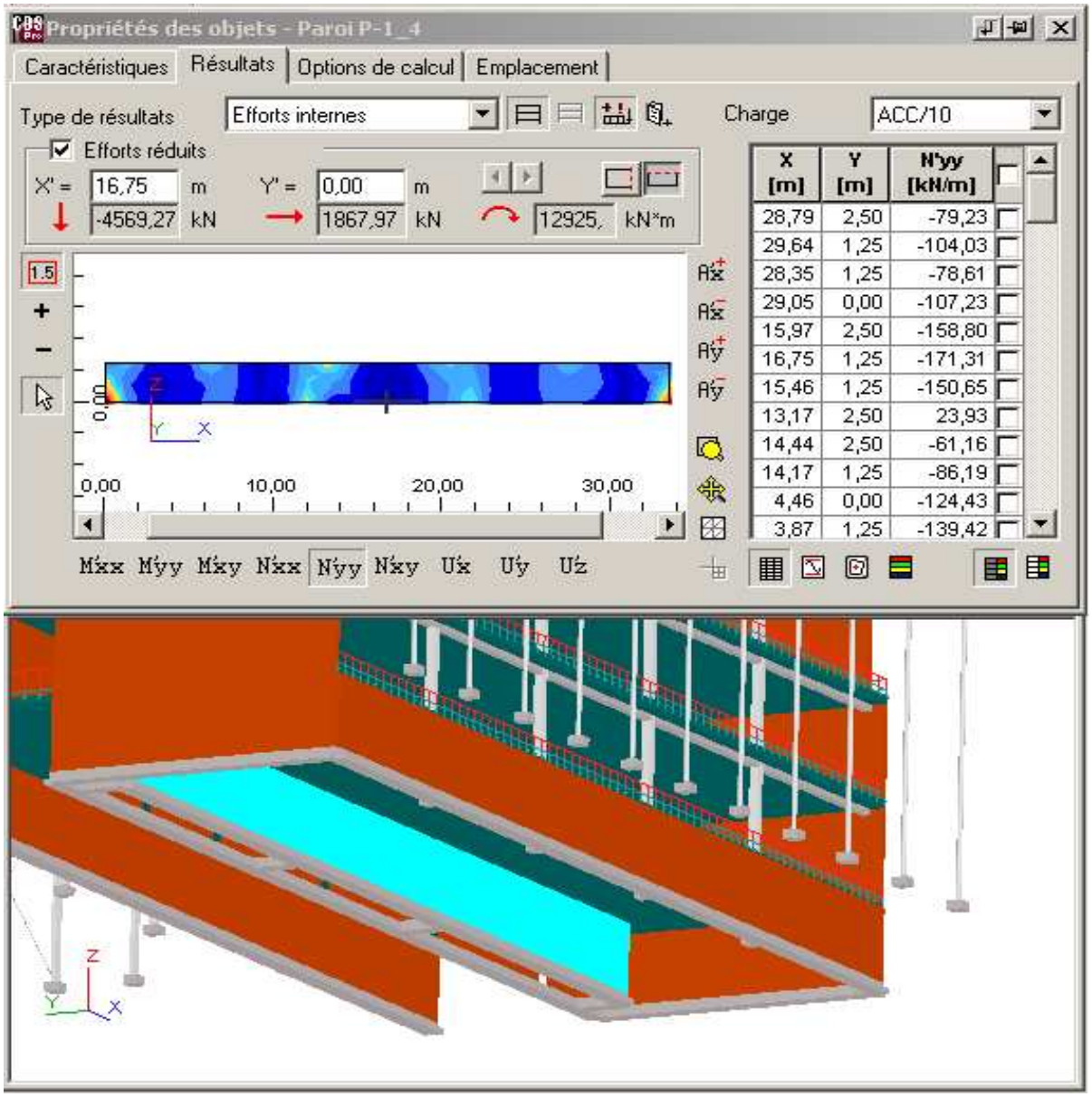
Annexe 5.1 : **Semelle isolée Axes J/14**
Extrait Plan EXE



13HA14= 20,01 cm²

Annexe 5.2 : **Semelle filante Axe H'**
Résultats CBS Pro

Combinaison ACC/10 ≡ G-E



Annexe 5.2 : **Semelle filante Axe H'**
Vérification au soulèvement

Données

Localisation		Axe H'	
Acier	fe	500	MPa
	γs	1,00	
Béton	fc28=	25	MPa
	γb	1,5	
Sol	Contrainte admissible σ adm	348	kN/m²
Dimension du mur :	Largeur a	0,20	m
Dimension de la semelle :			
	Longueur l	33,50	m
	Largeur b	1,20	m
	Hauteur h	0,30	m
Combinaison :		G-E	
Relevé des valeur du logiciel CBS Pro :			
	Effort vertical N	4569,27	kN
	Effort horizontal V	1867,97	kN
	Moment M	12925	kN.m

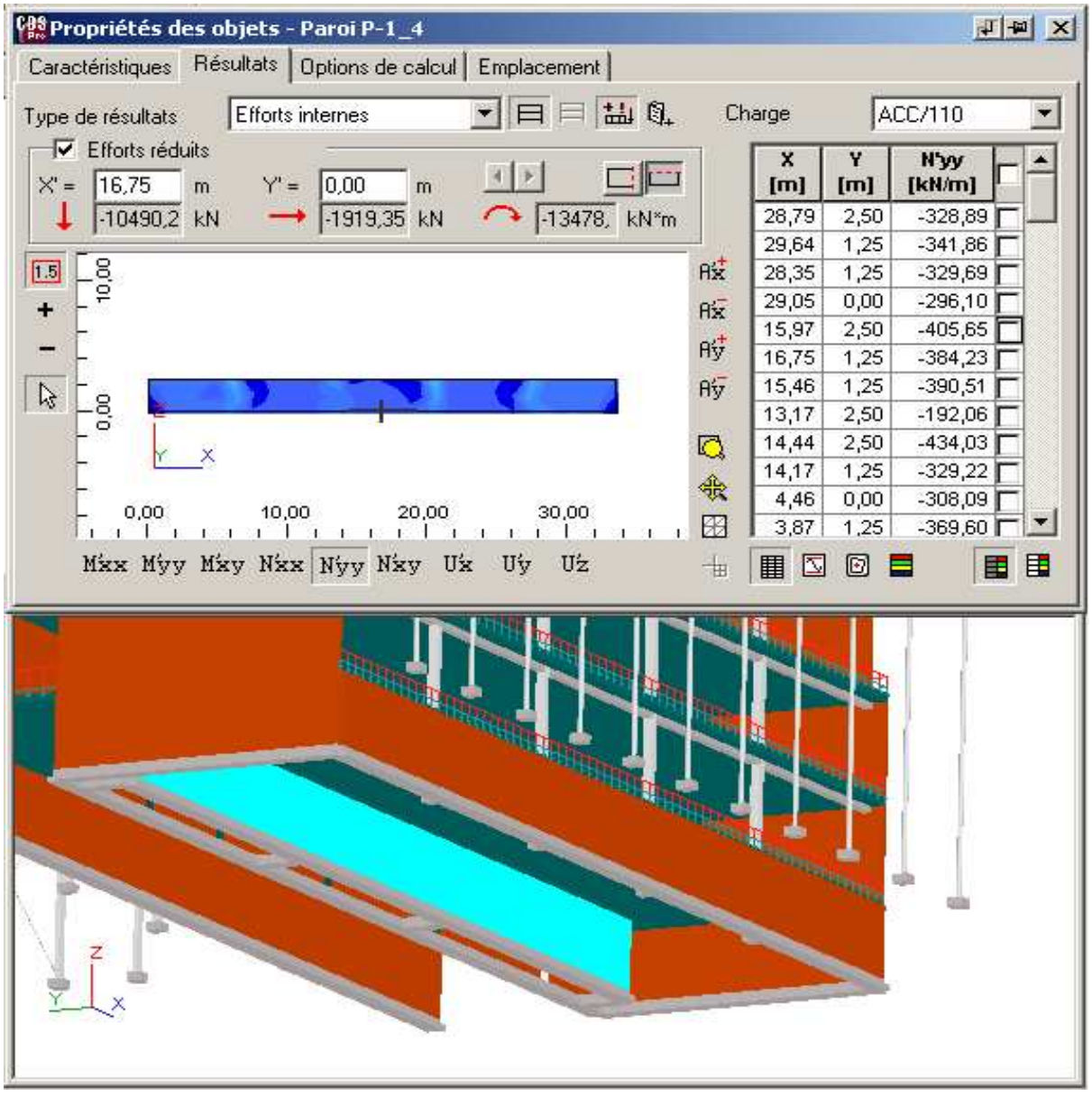
Résultats

Valeur au niveau du sol :			
	N'=N+l*b*h*ρbéton	4870,77	kN
	V'=V	1867,97	kN
	M'=M+V*h	13485,39	kN.m
Excentricité :	e=M'/N'	2,77	m
	e<l/6	VRAI	
Répartition des contraintes :		Trapézoïdale	
Contrainte maximale :	σ max	181,25	kN/m²
	σ min	61,08	kN/m²
Vérification :	σ max<σ adm	VRAI	
Vérification de non poinçonnement de la semelle			
	Nr	0,05	MN/m
	Nr/0,09fc28	0,03	m
	h>Nr/0,09fc28	VRAI	
Détermination des armatures de la semelle :			
	d0=(b-a)/2	0,5	m
	h≥2d0	FAUX	
	=> Semelle armée		
	h≥(b-a)/4	VRAI	
	=> Pas de vérification à l'effort tranchant		

$$A_S = \frac{\sigma_{max} \times b}{8} \times \frac{b-a}{h} \times \frac{f_e}{\gamma_S} \quad = \quad 1{,}81 \quad \text{cm²/m}$$

Annexe 5.2 : **Semelle filante Axe H'**
Résultats CBS Pro

Combinaison ACC/110 ≡ G+Q+E



Annexe 5.2 : **Semelle filante Axe H'**
Vérification de la force portante du sol

Données

Localisation		Axe H'	
Acier	fe	500	MPa
	γs	1,00	
Béton	fc28=	25	MPa
	γb	1,15	
Sol	Contrainte admissible σ adm	348	kN/m²
Dimension du mur :	Largeur a	0,20	m
Dimension de la semelle :			
	Longueur l	33,50	m
	Largeur b	1,20	m
	Hauteur h	0,30	m
Combinaison :		G+Q+E	
Relevé des valeur du logiciel CBS Pro :			
	Effort vertical N	10490,2	kN
	Effort horizontal V	1919,35	kN
	Moment M	13478	kN.m

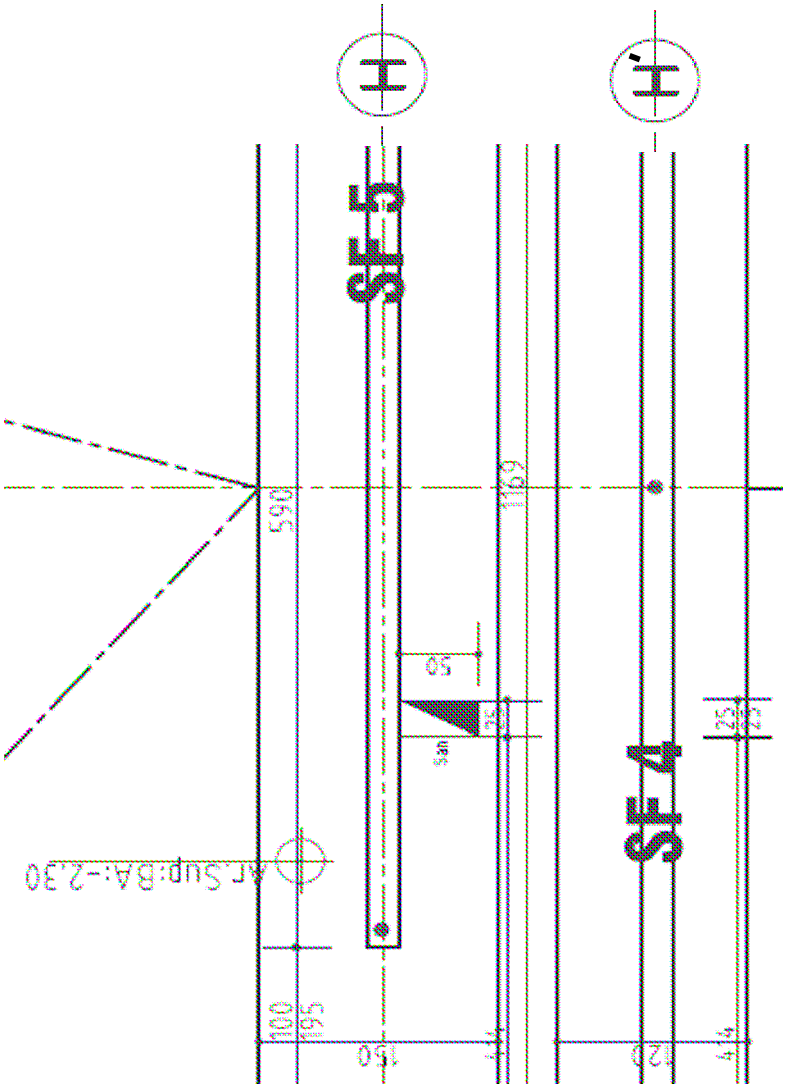
Résultats

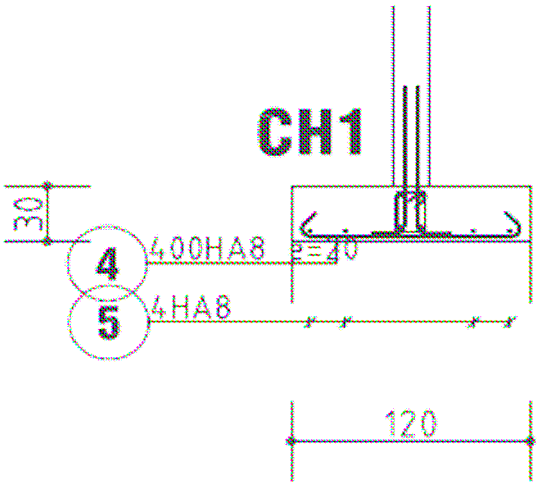
Valeur au niveau du sol :			
	N'=N+l*b*h*ρbéton	10791,70	kN
	V'=V	1919,35	kN
	M'=M+V*h	14053,81	kN.m
Excentricité :	e=M'/N'	1,30	m
	e<l/6	VRAI	
Répartition des contraintes :		Trapézoïdale	
Contrainte maximale :	σ max	331,06	kN/m²
	σ min	205,84	kN/m²
Vérification :	σ max<σ adm	VRAI	
Vérification de non poinçonnement de la semelle			
	Nr	0,13	MN/m
	Nr/0,09fc28	0,08	m
	h>Nr/0,09fc28	VRAI	
Détermination des armatures de la semelle :			
	d0=(b-a)/2	0,5	m
	h≥2d0	FAUX	
	=> Semelle armée		
	h≥(b-a)/4	VRAI	
	=> Pas de vérification à l'effort tranchant		

$$A_S = \frac{\sigma_{max} \times b}{8} \times \frac{b-a}{h} \times \frac{f_e}{\gamma_S} = 3{,}31 \text{ cm²/m}$$

Aciers longitudinaux :	4HA8 filants (section minimale de 1,6 cm² pour FeE500)		
Aciers transversaux :	HA8 e=15	≈3,35	cm²/m

Annexe 5.2 : **Semelle filante Axe H'**
Extrait Plan EXE

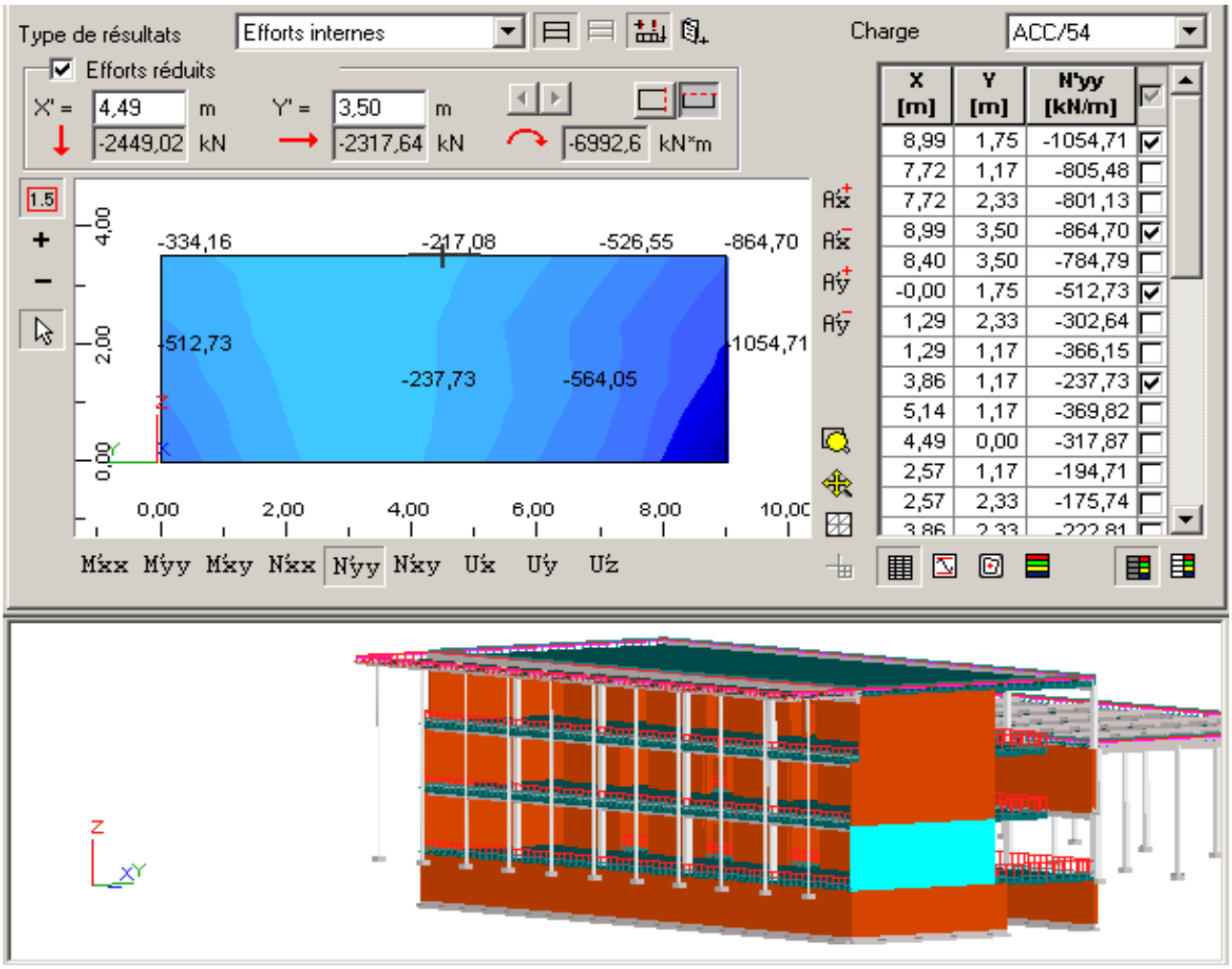




SF 4

Annexe 5.3 : **Voile Axe 16**
Résultats CBS Pro

Combinaison ACC/54 ≡ G+0,8Q+0,1N+E



Annexe 5.3 : **Voile Axe 16**
Vérification du trumeau de bord

Vérification sismique d'un mur non raidi sous sollicitations normales
(Les pages font référence au *Formulaire de Béton Armé 2* de Victor DAVIDOVICI)

Données

Localisation		Axe 16	
Béton	f_{c28}	25	MPa
	γb	1,15	
	σ_{bc}	14,21	MPa
Résultat CBS Pro	N'yy	1054,71	kN/m
Effort normal sur 1 m	N_u	1,055	MN
Hauteur libre du mur	l	3,20	m
Epaisseur du mur	a	0,18	m

Calcul, mur supposé non armé

Longueur de flambement			
Rapport l_f/l	(Tableau 5 p.95)	0,9	
	l_f	2,88	m
Rapport	$l_f/(a-2)$	18	
v_{lim}	(Tableaux 15, 16 ou 17 p.230-231)	0,306	
Effort normal ultime	$N_{u\ lim}$	0,696	MN
Vérification	$N_u \leq N_{u\ lim}$	FAUX	
Conclusion	Calcul mur armé		

Calcul, mur armé

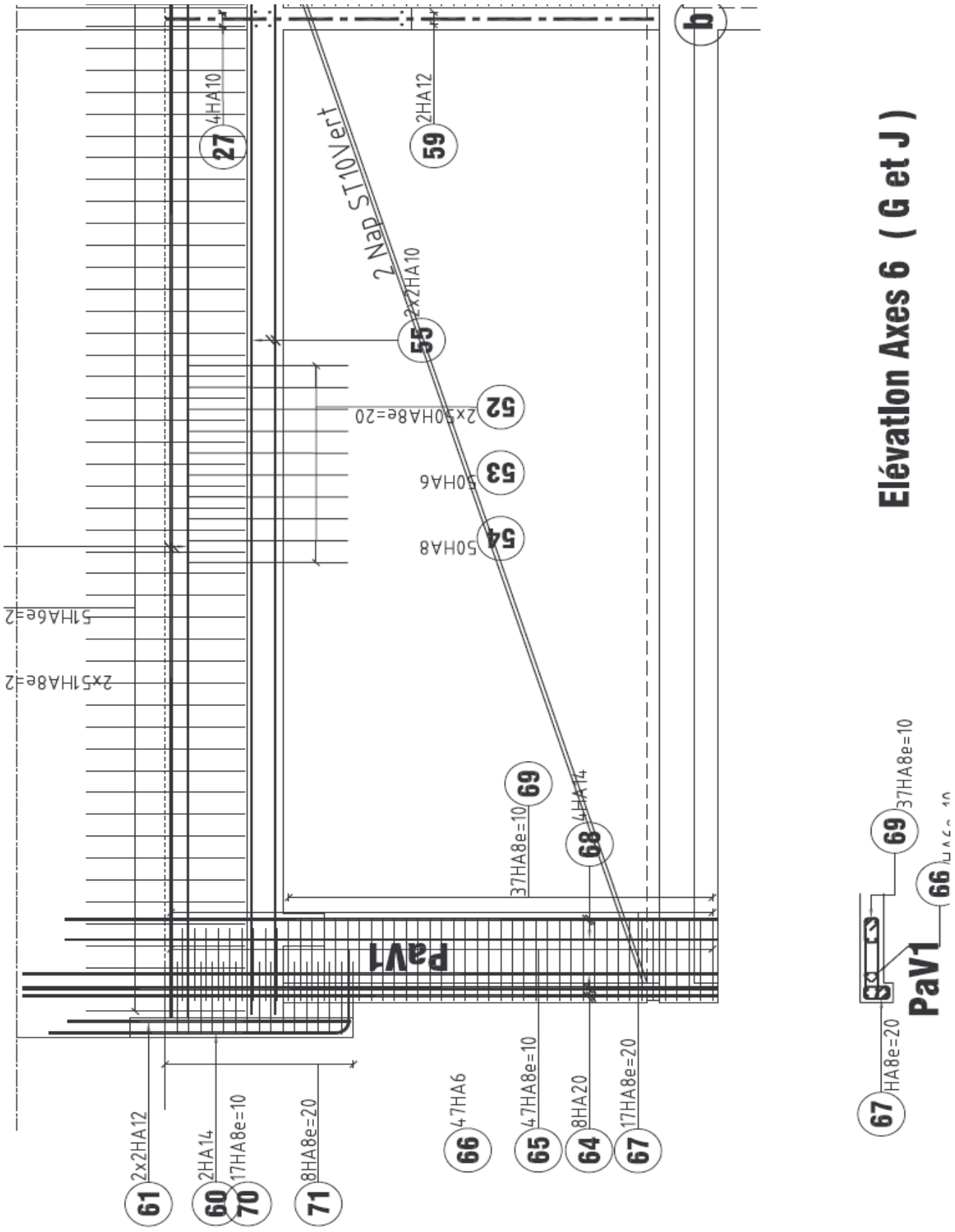
Rapport l_f/l	(Tableau 5 p.95)	0,85	
Longueur de flambement		2,72	m
Rapport	$l_f/(a-2)$	17	
v		0,46	
ρ_v	(Tableaux 18, 19, 20 p.232 à 237)	4,1	
A_v		9,32	cm²

≈ 6HA16

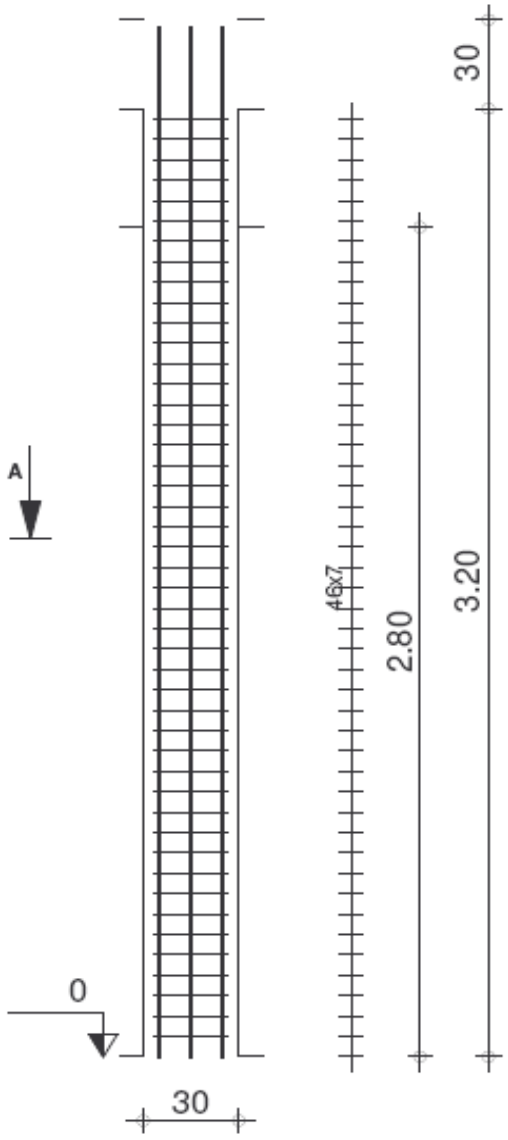
Selon plan EXE (position 64) : 8HA20 dont 2HA20 pour le mur en retour, soit 6HA20 pour le trumeau de bord

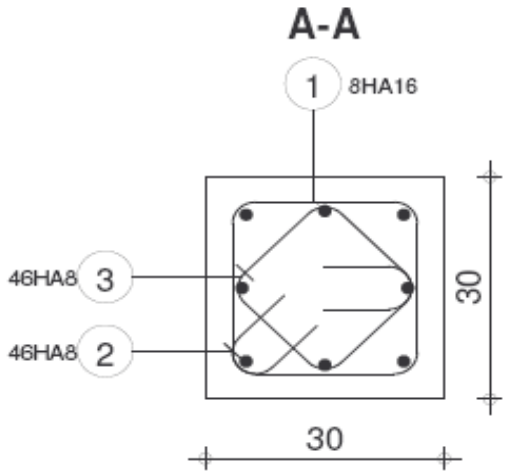
Annexe 5.3 : **Voile Axe 16**

Extrait Plan EXE (Axe 6 idem Axe 16)

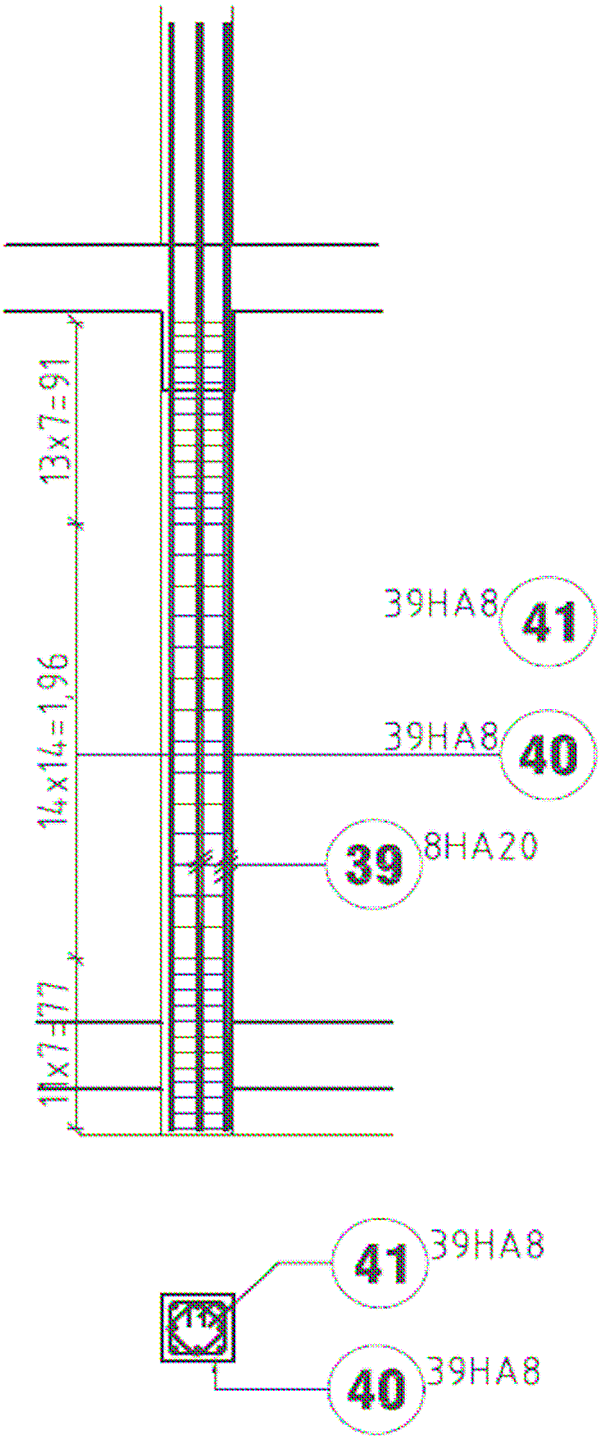


Annexe 5.4 : **Poteau RdC Axes J/14**
Résultats Robot Millenium





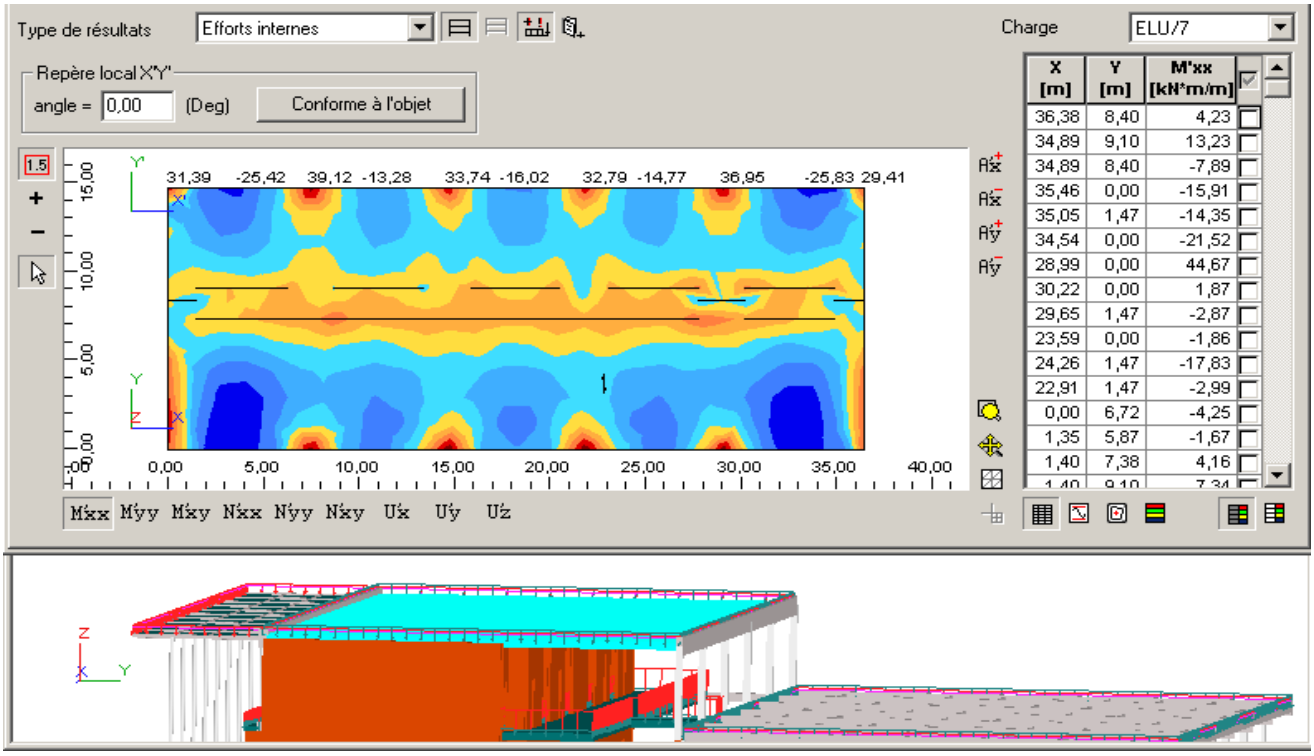
Annexe 5.4 : **Poteau RdC Axes J/14**
Extrait Plan EXE



Annexe 5.5 : **Poutre R+2 Axe G**
Résultats CBS Pro

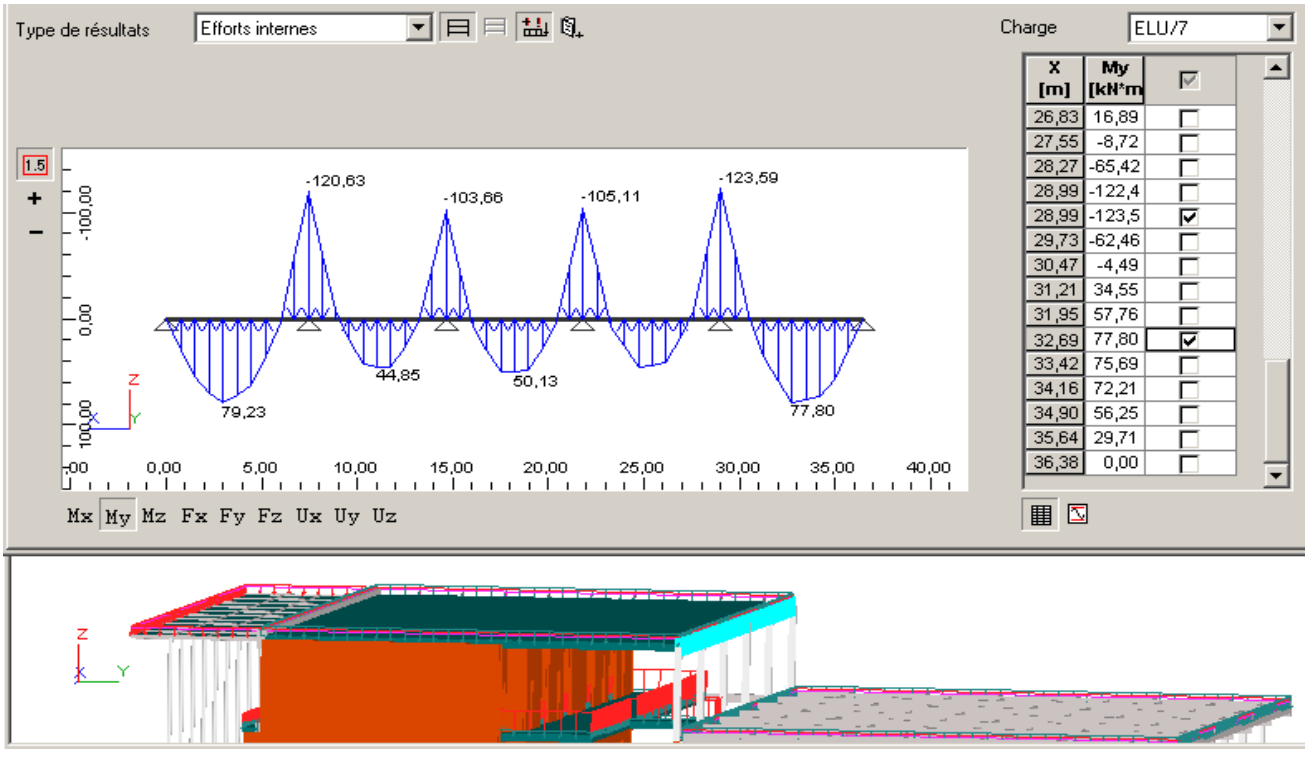
Dans le but de mettre en exergue le défaut, on utilisera exceptionnellement une combinaison aux ELU :
Combinaison ELU/7 ≡ 1,35*G+1,5*Q+1,00*N

Moments Mxx de la dalle haut R+2


Type de résultats
Efforts internes
Charge
ELU/7
Repère local XY'
angle = 0,00 (Deg)
Conforme à l'objet
31,39 -25,42 39,12 -13,28 33,74 -16,02 32,79 -14,77 36,95 -25,83 29,41
Mxx Myy Mxy Nxx Nyy Nxy Ux Uy Uz

X [m]	Y [m]	M'xx [kN*m/m]
36,38	8,40	4,23
34,89	9,10	13,23
34,89	8,40	-7,89
35,46	0,00	-15,91
35,05	1,47	-14,35
34,54	0,00	-21,52
28,99	0,00	44,67
30,22	0,00	1,87
29,65	1,47	-2,87
23,59	0,00	-1,86
24,26	1,47	-17,83
22,91	1,47	-2,99
0,00	6,72	-4,25
1,35	5,87	-1,67
1,40	7,38	4,16

Courbe de moment My de la poutre R+2 Axe G

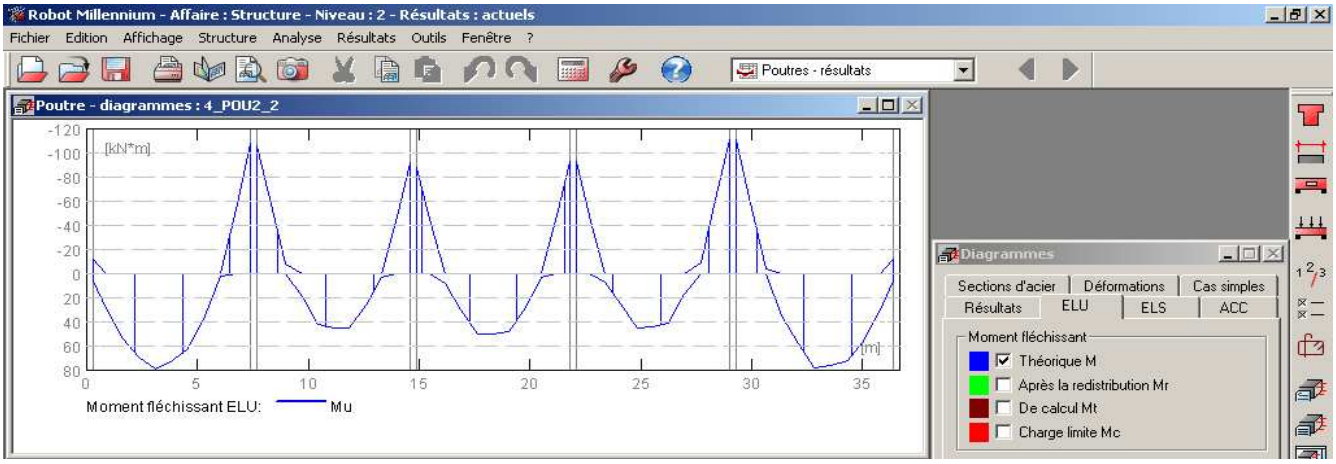


X [m]	My [kN*m
26,83	16,89
27,55	-8,72
28,27	-65,42
28,99	-122,4
28,99	-123,5
29,73	-62,46
30,47	-4,49
31,21	34,55
31,95	57,76
32,69	77,80
33,42	75,69
34,16	72,21
34,90	56,25
35,64	29,71
36,38	0,00

Annexe 5.5 : **Poutre R+2 Axe G**
Résultats Robot Millenium

On "exporte" les résultats du logiciel CBS Pro vers le logiciel Robot Millenium.
On observe alors le moment de calcul utilisé.

Courbe de moment théorique Mu de la poutre R+2 Axe G


Robot Millennium - Affaire : Structure - Niveau : 2 - Résultats : actuels
Fichier Edition Affichage Structure Analyse Résultats Outils Fenêtre ?
Poutres - résultats
Poutre - diagrammes : 4_POU2_2
[kN*m]
[m]
Moment fléchissant ELU: Mu
Diagrammes
Sections d'acier Déformations Cas simples
Résultats ELU ELS ACC
Moment fléchissant
Théorique M
Après la redistribution Mr
De calcul Mt
Charge limite Mc

On constate que les courbes de moments des logiciels CBS Pro et Robot Millenium sont bien les mêmes.

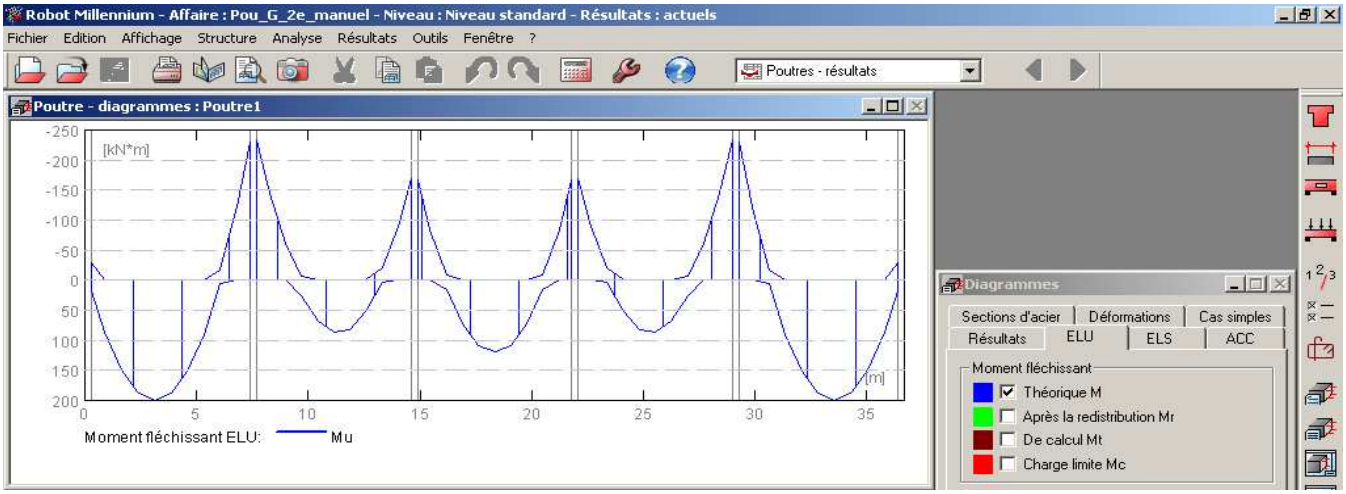
Annexe 5.5 : **Poutre R+2 Axe G**
Descente de charge "manuelle"

dalle haut R+2 / toiture végétalisée :

Charges permanentes	9,00	kN/m²	x	(5,60 m / 2) =	25,20	kN/m
Charge d'exploitation	1,00	kN/m²	x	(5,60 m / 2) =	2,80	kN/m
Charge de neige	0,64	kN/m²	x	(5,60 m / 2) =	1,79	kN/m

(Poids propre de la poutre automatiquement intégré par le logiciel ROBOT Millenium)

Résultat du logiciel ROBOT Millenium à partir de la descente de charge "manuelle"

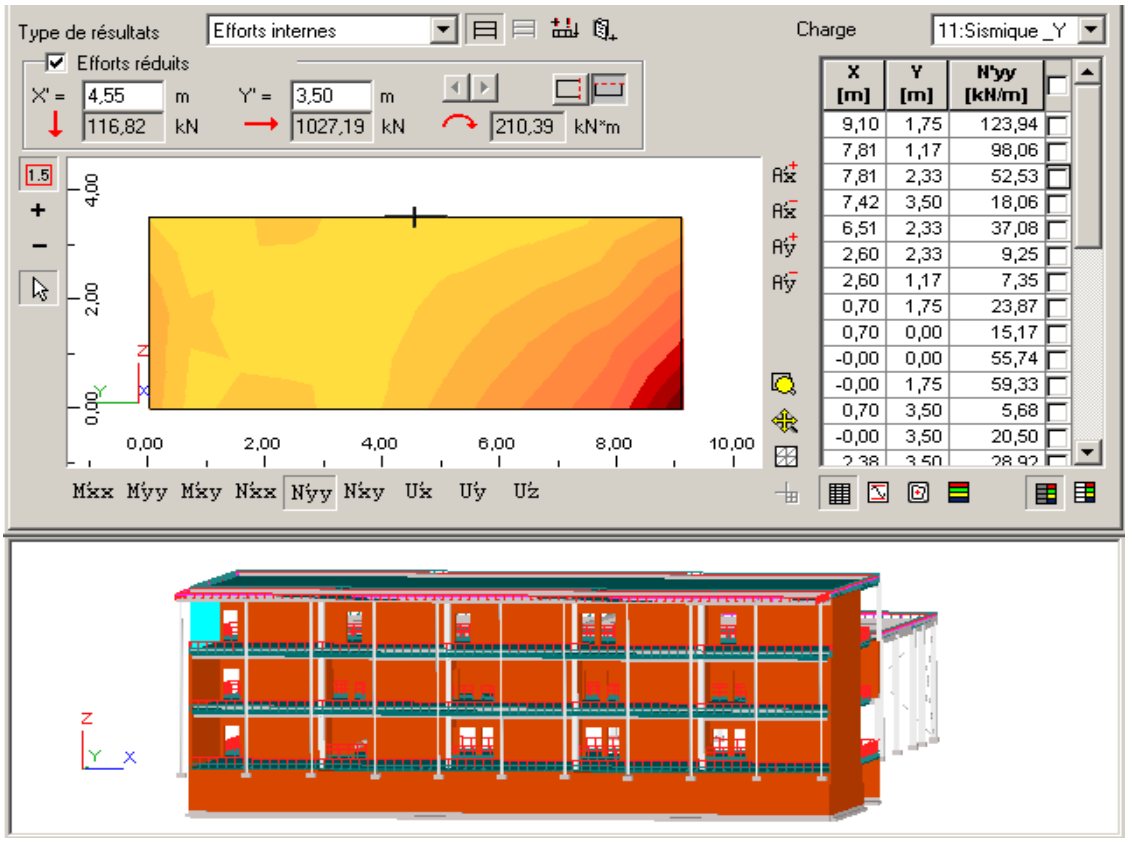

Robot Millennium - Affaire : Pou_G_2e_manuel - Niveau : Niveau standard - Résultats : actuels
Fichier Edition Affichage Structure Analyse Résultats Outils Fenêtre ?
Poutres - résultats
Poutre - diagrammes : Poutre1
[kN*m]
[m]
Moment fléchissant ELU: Mu
Diagrammes
Sections d'acier Déformations Cas simples
Résultats ELU ELS ACC
Moment fléchissant
Théorique M
Après la redistribution Mr
De calcul Mt
Charge limite Mc

On constate que la courbe de moment "réelle" est bien supérieure à celle provenant du logiciel CBS Pro.
On constate également que le cumul des courbes de moments de la dalle et de la poutre provenant du logiciel CBS Pro reste inférieur à la courbe de moment "réelle".

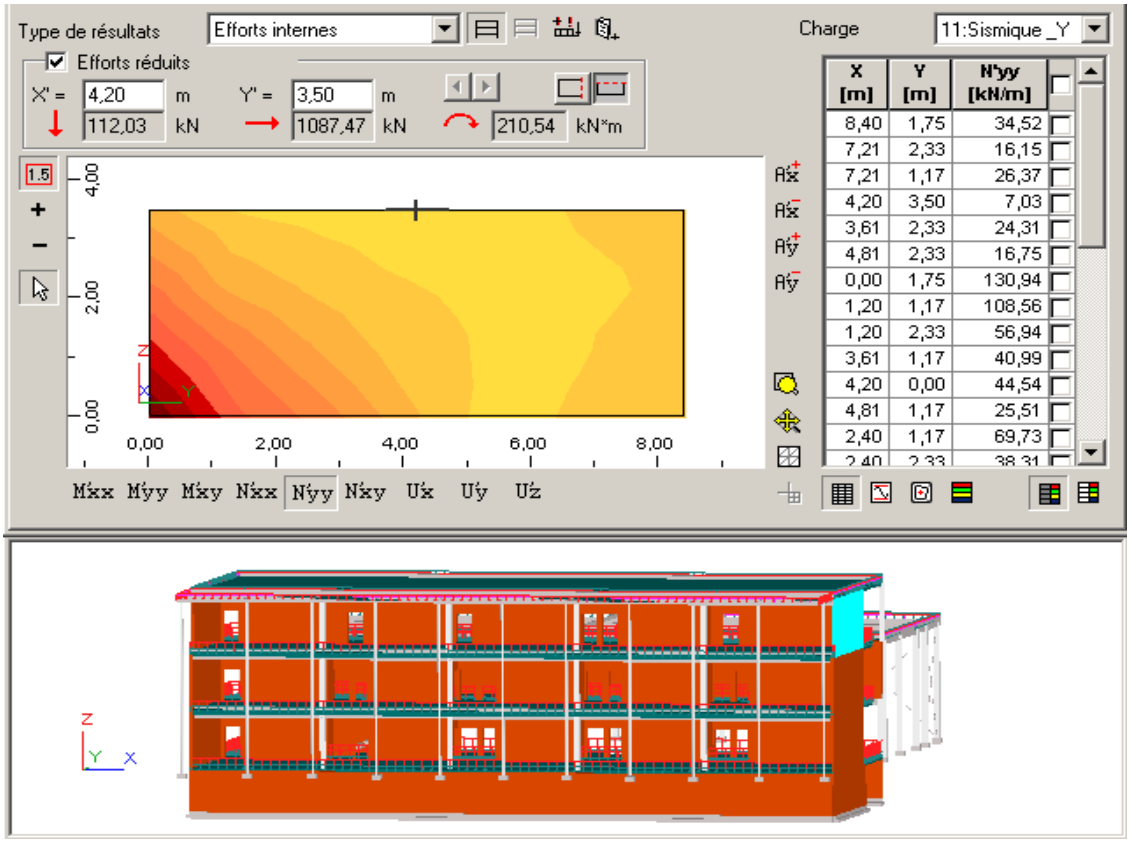
Annexe 5.6 : **Dalle ht R+2**

Résultats CBS Pro

Force horizontale Voile R+2 Axe 6

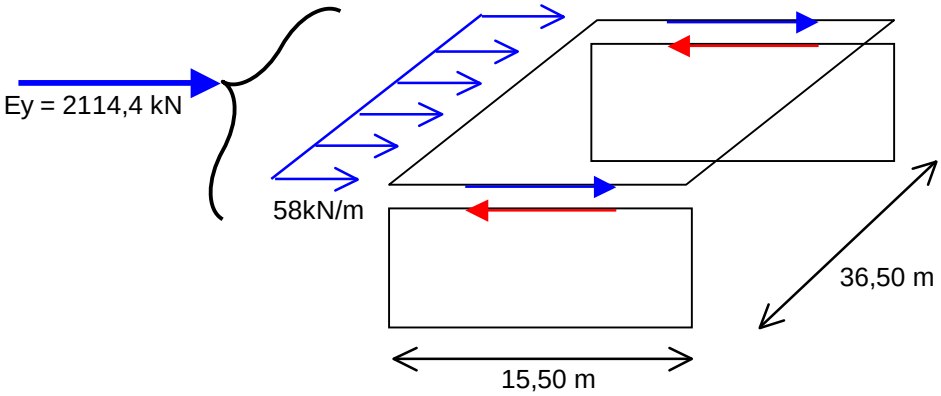


Force horizontale Voile R+2 Axe 16



Annexe 5.6 : **Dalle ht R+2**
Approche par calcul manuel

Force horizontale Voile R+2 Axe 6		=	**1027,19**	kN
Force horizontale Voile R+2 Axe 16		=	**1087,19**	kN
Force équivalente au séisme selon y :	Ey	=	**2114,38**	kN
Longueur de la dalle :	L	=	**36,50**	m
Charge répartie équivalente au séisme :	Ey/L	≈	**58,0**	kN/m
Largeur de la dalle :	B	=	15,50	m
	L/B	=	2,35 >2	=> modèle poutre



Moment maxi : $M_{max}=\frac{(E_y/L)\times L^2}{8}=\frac{(58kN/m)\times(36.50m)^2}{8}$ = **9658,81** kN.m

$\frac{I}{v}=\frac{(0.30m)\times(15.50m)^2}{6}$ = **12** m^3

Contrainte maxi : $\sigma_{max}=\frac{M}{\frac{I}{v}}=\frac{9658.81kN.m}{12m^3}$ = **804,90** kN/m²

Epaisseur dalle : e=0,30 m

$A_S=\frac{\sigma_{max}\times e}{\frac{f_e}{\gamma_s}}=\frac{0.8049MN/m^2\times 0.30m}{\frac{500MPa}{1.00}}=4.83\times10^{-4}m^2/m$ = **4,83** cm²/m

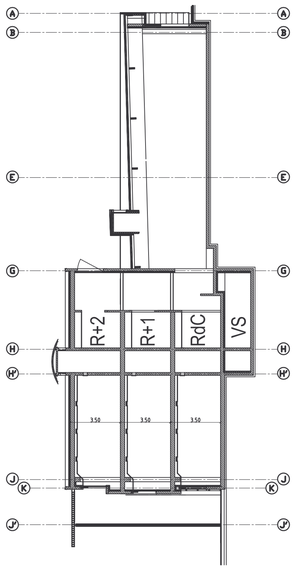
Annexe 5.6 : **Dalle ht R+2**
Armatures selon plan EXE

Chaînage minimal (disposition constructive PS 92) :	4Ø10	=	3,14	cm²
Armatures de chapeau sur appuis :	TS10	=	1,19	cm²/m
Armatures de répartition dans la prédalle :			0,86	cm²/m
	A_S	=	**5,19**	cm²/m

Annexe 6

Plan de principe du Bâtiment 3

Coupe de principe 1/200°



MAITRE D'OUVRAGE
DIRECTION DE L'AMENAGEMENT DES EQUIPEMENTS
Hôtel du Département
Place du Quartier Blanc
67964 STRASBOURG Cedex 9
Tél. 03.88.76.67.67
Fax. 03.88.76.68.18

MAITRE D'OEUVRE
J.P GILCH–F. KALK–L. GILCH
SOCIETE D'ARCHITECTE
7, rue du Parc – BP: AMBRE
67205 OBERHAUSBERGEN
Tél. 03.88.56.97.97
Fax. 03.88.56.13.03

ECONOMISTE
C2BI
Ingénierie de la construction
230, Avenue de Colmar – BP 195
67022 STRASBOURG
Tél. 03.88.43.04.80
Fax. 03.88.43.04.79

PAYSAGISTE
BOUCHOT
ECO – PAYSAGEMENT
20, rue de Rosheim
67000 STRASBOURG
Tél. 03.88.14.11.53
Fax. 03.88.14.11.52

BUREAU DE CONTROLE
SOCOTEC
30, rue du Faubourg de Saverne
67000 STRASBOURG
Tél. 03.88.37.55.55
Fax. 03.88.37.55.56

BUREAU D' ETUDES
SBE
8, rue des Prés
67540 OSTWALD
Tél. 03.88.10.00.10
Fax. 03.88.29.58.13

ECHELLE 1/100°
NUMÉRO BÂTIMENT 3
IND.

PROJET DE FIN D'ETUDES

Annexe 6

COLLEGE DU PIEMONT HEILGENSTEIN - BARR

Construction d'un collège 400 et d'une SEGPA 64

PLAN DE PRINCIPE
STRUCTURE DE CONTREVENTEMENT

BATIMENT 3
TOUS NIVEAUX

N

PHASE: PRO

Remarque	Nom	Date
Dessiné par :	R.D.	24/06/2006
Modifié par :	D.J.	25/06/2007

LOGICIEL: AutoCAD 2000

N° AFFAIRE: 671264